

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»



О.М. Новіков,
І.В. Стъопочкіна

НАУКОВИЙ МЕТОД У ТОЧНИХ НАУКАХ

Посібник для учасників учнівських
науково-технічних конкурсів

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»**

О.М. Новіков, І.В. Стьопочкіна

НАУКОВИЙ МЕТОД У ТОЧНИХ НАУКАХ

**Посібник для учасників учнівських
науково-технічних конкурсів**

Київ 2015

УДК 001.891:5](072)
ББК 72.4я7+2я7
Н73

Новіков О. М., Стьопочкіна І.В.

Науковий метод у точних науках: Посібник для учасників учнівських науково-технічних конкурсів. – Київ: Наш формат, 2015. – 100 с.

У посібнику в популярній формі розглядаються основи сучасного наукового методу та деякі інші питання наукової методології у застосуванні до точних наук. Посібник базується на досвіді співпраці авторів з науковою молоддю та педагогами, які брали участь у міжнародному науково-технічному конкурсі учнівської молоді Intel ISEF, національному конкурсі Intel Техно, учнівських олімпіадах тощо. Розглянуті способи і методи наукового дослідження на різних етапах, надані практичні поради щодо організації наукових досліджень учнівської молоді.

Посібник призначений для учнів середніх навчальних закладів, які беруть участь у міжнародних та національних науково-технічних конкурсах, педагогів та наукових керівників, а також може бути корисним для студентів вищих навчальних закладів і всіх, хто має інтерес до методології науки.

Автори:

Олексій Миколайович Новіков, доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»
Ірина Валеріївна Стьопочкіна, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційної безпеки Фізико технічного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Рецензенти:

Сергій Леонідович Мосякін, чл.-кор. НАН України, доктор біологічних наук, професор, директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного Національної академії наук України, науковий консультант Intel ISEF в Україні
Наталія Іванівна Поліхун, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник Інституту обдарованої дитини Національної академії педагогічних наук України

Це видання здійснено за підтримки Відділу преси, освіти та культури Посольства США в Україні у рамках проекту «Developing a Manual on the Scientific Method and relevant resources for students and educators participating in national and international science fairs for high school students». Точка зору, зображена у даному виданні, може не співпадати з офіційною позицією уряду США.

ISBN 978-617-7092-59-8

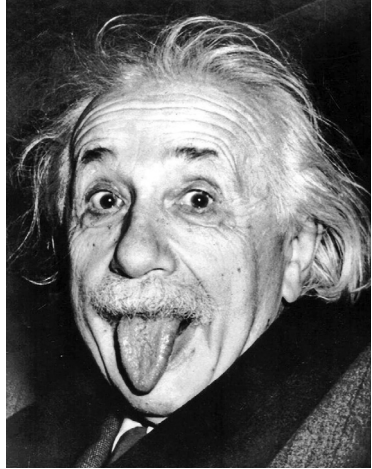
© О.М. Новіков, І.В. Стьопочкіна, 2015

Науковий метод у точних науках Посібник для учасників учнівських науково-технічних конкурсів

Вступ

Якщо ви хочете щось з'ясувати у фізиків-теоретиків про методи, які вони застосовують, я раджу вам твердо дотримуватись одного принципу: не слухайте, що вони говорять, краще вивчайте їхні дії...

Альберт ЕЙНШТЕЙН
(«Про метод
теоретичної фізики»)



На певному ступені розвитку людство стало замислюватись над тим, яким чином воно пізнає оточуючий світ. А саме, які інструменти та засоби застосовуються для того, щоби одержати вірні уявлення про закони існування Всесвіту та його елементів, в тому числі і самої людини в ньому. Наука є засобом для пізнання оточуючого світу, і вона надає необхідні методи для об'єктивного дослідження. Які ж саме методи застосовуються в точних науках? Які умови їхнього застосування, і в яких випадках дослідник має застосовувати кожен із них?

Призначення посібника

Наукове дослідження часто починається із наявності певної проблеми, яка потребує розв'язання. Ця проблема може мати практичне значення для промисловості або інших сфер людського життя, а може бути суто науковою проблемою, абстрагованою (поки що!) від конкретного застосування. Науковець бачить наявність такої проблеми, і в нього з'являється цікавість щодо її розв'язання. Однак, між цікавістю та розв'язком існують проміжні етапи.

По-перше, у науковця повинна з'явитись ідея, яким чином, хоча б приблизно, слід розв'язувати поставлену задачу. Це означає, що дослідник вже має (або, принаймні, повинен мати) припущення про те, який метод чи підхід слід застосувати для вирішення проблеми.

По-друге, дослідник застосовує обраний метод до вихідної задачі, і одержує певні результати. Вони можуть бути позитивними – розв'язок знайдено, але можуть бути й негативними – застосування обраного методу не дало можливості розв'язати задачу (розв'язок за даним методом не існує, або слід застосувати інші підходи). У разі негативних результатів науковець змінює метод, і знов намагається розв'язати задачу іншим шляхом. Якщо задача складна, то процес пошуку вірного шляху розв'язання може бути достатньо довгим, і, можливо, навіть виявиться що розв'язок на сучасному етапі розвитку науки та техніки знайти неможливо. Однак, навіть у цьому разі не можна вважати, що час, витрачений на вирішення проблеми, витрачений марно – невдачі також враховуються у скарбничці наукових надбань і є підґрунтям для подальших досліджень.

У цьому посібнику приділено увагу саме проміжним етапам між виникненням проблеми та її розв'язком. Інтерес до процесу наукового розв'язання проблеми та методів, які використовуються в точних науках, зумовлюється тим, що на сучасний момент велика кількість обдарованої молоді має натхнення та можливості застосувати свої ідеї до вирішення нагальних наукових та практичних задач. Про це свідчать численні науково-практичні роботи, що брали участь в міжнародному науково-технічному конкурсі учнівської молоді Intel ISEF, національному конкурсі Intel Техно та інших. Є сподівання на те, що учасники та переможці цих конкурсів не будуть обмежуватись досягнутими результатами, а продовжать поглиблювати свої знання, в тому числі і в галузі точних наук, тому цей посібник призначено саме для цієї цільової аудиторії. Також він може бути корисним і для більш широкого кола читачів, яке включатиме вчителів, наукових керівників, студентів та всіх, хто цікавиться методологією науки.

У посібнику окреслено основні засади застосування наукового методу, наведено історичні довідки та приклади, які ілюструють процес наукових досліджень. Стисло розглянуто способи та методи наукових досліджень, та сучасні досягнення

в науці та техніці, одержані в ході таких досліджень, проведено паралелі із філософським підґрунтям наукового методу. Матеріали цього посібника можуть стати в нагоді для організації процесу дослідження проблеми, наштовхнути на корисні ідеї тих, хто планує у майбутньому займатись науковою діяльністю в тій чи іншій галузі, а також розв'язувати наукоємні практичні задачі. Інформація, що наведена у главах посібника, як ми сподіваємося, сприятиме розширенню наукового кругозору молодих дослідників.

Поняття наукового методу та зміст посібника

У нашому посібнику основна увага приділена так званому науковому методу досліджень, який застосовується в точних науках. Під науковим методом будемо розуміти сукупність основних способів одержання нових знань та методів розв'язання задач. Окреслимо основні передумови застосування наукового методу, які детально будуть розглянуті в главах посібника.

База, над якою працює науковий метод – це дані про об'єкт досліджень у вигляді спостережень (які можуть бути одержані в ході експерименту як шляхом безпосереднього спостереження, так і вимірювання).

На основі одержаних даних висуваються гіпотези, або будуються теорії. Під теорією будемо розуміти сукупність узагальнених понять, що складають деякий розділ науки; тобто теорія – це деяка система, в рамках якої поєднуються в одне ціле окремі поняття, гіпотези та закони. Для одержання тих чи інших висновків використовуються визначені правила міркувань, припустимі в рамках висунутої теорії, в результаті застосування яких об'єкт, що спостерігався, може бути описаний у виді математичної моделі. Тут відбувається абстрагування від несуттєвих, чи не цікавих для дослідника властивостей об'єкта і зосередження на тих властивостях, які є важливими і стосуються предмету досліджень.

Наявність математичної моделі дозволяє здійснити дві важливі функції у вивченні об'єкта: систематизацію проявів об'єкта досліджень та прогноз поведінки об'єкта досліджень. Математична модель має бути апробована на предмет своєї адекватності реальному об'єкту.

Отже, застосування наукового методу в точних науках характеризується такими основними етапами:

1. Спостереження за об'єктом досліджень;
2. Побудова гіпотез, теорій та правил;
3. Побудова моделі;
4. Апробація адекватності моделі (із використанням результатів п.1);
5. Аналіз поведінки об'єкта на основі моделі.

Інколи дослідження обмежується суто теоретичними аспектами, і має будувати лише фундамент для розв'язання практичних задач. Тоді застосування наукового методу зосереджується на побудові теорії та відповідного математичного апарату. Однак, перевірка теорії все одно відбуватиметься, як правило, шляхом експерименту, тобто, фактично, на етапі 4.

Склад наукового методу, тобто способи наукового дослідження на етапах 1-5, зумовлюють структуру даного посібника: розділ 1 присвячено способам наукового дослідження на етапі спостережень, в розділі 2 розглянуто способи наукового дослідження на етапі побудови теорії, розділ 3 висвітлює наукові методи, пов'язані із моделюванням; розділ 4 присвячено апробації наукових знань; розділ 5 стосується питань аналізу поведінки об'єкта досліджень; розділ 6 вміщує відомості про методи, які можуть бути використані на будь-яких етапах дослідження – аналіз та синтез.

Зв'язок із філософськими проблемами

На розвиток сучасної науки здійснила вплив і філософія, зокрема певні філософські концепції (див. додаток 1). На даний момент у науці існує самостійна традиція (наукові школи), культура наукових досліджень (мається на увазі певний порядок дій, прийнятих у науковій спільноті для визнання одержаних результатів – це публікації у наукових журналах, доповіді на конференціях, де широкою науковою спільнотою апробуються результати тощо), свій апарат досліджень (теоретичний та формальний арсенал у вигляді теорій та їхніх елементів, а також алгоритми та методи обчислень). Є і науково-філософські традиції, світоглядні міркування про оточуючий світ. Вся ця наукова система безперервно змінюється та вдосконалюється. Однак, як і в будь-якій системі, існують певні неузгодженості, загадки, що пов'язані із зміною уявлень вчених про оточуючий світ, які будуть із часом розв'язані. Різні погляди існують також і щодо методів, які використовуються

наукою для досліджень (див. додаток 2). Із цими та іншими філософськими та науковими проблемами читач зустріне-ть-ся на сторінках цього посібника, зокрема, розділ 7 висвітлює деякі проблеми філософії науки – а саме ті, що стосуються метатеоретичного пізнання.

Звичайно ж, ми не мали змоги висвітлити тут усі основні аспекти методології науки, а тому запрошуємо читачів до детальнішого ознайомлення з науковим методом на сторінках рекомендованої літератури, на безмежних просторах «світового павутиння», у спілкуванні з друзями, вчителями й викладача-ми, науковими керівниками, при виконанні власних учнівських або студентських наукових проєктів, які з часом переростуть у справжню велику науку, досягнення якої сприятимуть прогресу нашого суспільства, української держави та всього людства.

Автори посібника висловлюють щиро подяку члену-корес-понденту НАН України, доктору біологічних наук, професору Сергію Леонідовичу Мосякіну за цінні поради щодо змісту та плідну співпрацю. Ми щиро вдячні Відділу преси, освіти та культури Посольства США в Україні, за підтримки якого здій-снено підготовку видання цього посібника; а також співро-бітникам Фізико-технічного інституту НТУУ “КПІ” за надані консультації.

1. Способи наукового дослідження на етапі спостережень

1.1. Наукові спостереження

Найбільш плідним джерелом математичних відкриттів є уважне спостереження фактів.

Шарль ЕРМІТ



Велика кількість відкриттів була зроблена на основі спостережень за оточуючим світом. Це особливо стосувалось тих часів, коли людство лише починало проявляти наукову цікавість до різноманітних природних явищ. Однак і в наші часи розквіту розвинутих наукових теорій залишаються випадки, коли саме спостереження надають дослідникові цінну інформацію, яка підштовхує його до правильних висновків чи навіть до відкриття нових закономірностей.

Наукове спостереження є найбільш простим способом пізнання навколишнього світу. На відміну від простого споглядання наукові спостереження характеризуються наявністю чітко заданої мети та засобів досягнення цієї мети. При наукових спостереженнях велику увагу приділяють таким аспектам як:

- Постановка задачі. Тут відокремлюється мета спостережень.
- Розробка методики спостережень. На цьому етапі обираються засоби досягнення мети, будується план спостережень.
- Одержання результатів та контроль за їхньою коректністю. Одержані дані спостережень оцінюються на предмет об'єктивності, оцінюється надійність способу одержання ре-

зультатів. Об'єктивність забезпечується контролем шляхом повторного спостереження, або застосуванням інших методів спостережень, наприклад, експерименту (див. п. 1.4)

– Слід відмітити, що спостереження мають бути систематичними, щоби уникнути одержання псевдодостовірних результатів, які є лише частковими проявами більш загального явища, і можуть призвести до невірних висновків досліджень.

Приклад. Відкриття синхронізації Християном Гюйгенсом.

Під час хвороби Гюйгенс вимушено споглядав зі свого ліжка за двома маятниковими годинниками. І помітив дивну узгодженість між двома новими часовими механізмами, що містять малі ланцюги. Маятники, закріплені на спільній балці, завжди коливались у точній протифазі. Спостерігач спробував внести зміни у рух одного з маятників, однак із часом коливання все одно увійшли знову до узгодженого режиму. Це спонукало Гюйгенса більш ретельно вивчити це явище, і він почав вести щоденник спостережень. Надалі від спостережень він перейшов до експерименту: спробував змінити положення циферблатів, прискорював маятник, розсував на більшу відстань та, навпаки, присував годинники одне до одного, закріплював їх на стільцях. І кожен раз продовжував систематично спостерігати. В результаті цих спостережень він зробив висновок про певну «симпатію», яка обумовлює точну узгодженість між годинниками. Ця «симпатія» зникає при відсутності зв'язку у вигляді спільної опори (балки). Для того, щоби зрозуміти природу синхронізації між годинниками, Гюйгенс приймав до уваги віддаленість годинників, температуру повітря та інші фактори [1].

Отже, в цьому прикладі ми бачимо, як спостерігач переходить від простого споглядання до спостереження, а від спостереження до експерименту.

Важливим є те, яким чином будуть інтерпретуватись одержані результати спостереження. Інколи неправильна трактовка може бути причиною хибних висновків.

Приклад. Спостереження в ході відкриття Нептуна.

Відкриттю Нептуна – восьмої планети Сонячної системи – передувала серія його спостережень. Офіційно Нептун був відкритий у 1846 році, однак є свідчення про те, що астрономи спостерігали його і раніше. Нептун не можна побачити із Землі неозброєним оком, отже, перші спостереження Нептуна були можливі лише після винайдення телескопу. Вважається, що ще

Галілей спостерігав Нептун 28 грудня 1612 р. та 29 січня 1613 р. Однак, він прийняв планету за нерухому зірку в поєднанні з Юпітером на нічному небі. Астроном Джон Гершель відмітив, що фактично спостерігав Нептун 14 липня 1830 р., і, хоча його телескоп був достатньо потужним для того, щоби роздивитись диск Нептуна, він помилково вирішив, що спостережуваний об'єкт – зірка. Парадоксально, але Нептун був відкритий «на кінчику пера» – на основі обчислень У. Левер'є астрономами Берлінської обсерваторії. Незалежно від Левер'є аналогічні розрахунки виконав Д. К. Адамс. Цей та інші цікаві приклади відкриттів планет, що так чи інакше пов'язані із спостереженнями, наведено у [23].

1.2. Порівняння

Рішення складної математичної проблеми можна порівняти із взяттям фортеці.

Наум Якович ВІЛЕНКІН



Порівняння – це один із універсальних методів дослідження. Порівнянням називається встановлення схожості та розбіжності в явищах довколишнього світу. В результаті порівняння встановлюється, що є спільного в двох чи декількох об'єктах дослідження.

При порівнянні слід приділити увагу наступним аспектам:

- Наявність спільного в об'єктах порівняння. Порівнювати неспівставні явища не можна, оскільки це не дасть об'єктивних результатів.

- Порівняння суттєвих ознак, властивостей об'єктів. Співставлення несуттєвих властивостей може призвести до хибних висновків.

Порівнювати об'єкти можна лише по певній виділеній в них властивості чи ознаці, тобто у деяких заданих рамках.

Приклад. Порівняння часу падіння різних об'єктів.

Наведемо широко відомий приклад, який ілюструє, яким чином слід виконувати порівняння властивостей різних предметів. У цьому випадку мається на увазі експеримент Галілея, який вперше встановив, що важкі предмети падають донизу так само швидко, як і легкі. Експеримент, проведений Галілеєм, полягав у тому, що одночасно із Пізанської вежі скидалось гарматне ядро і значно легша куля. Форма тіл була спеціально підібрана схожою, і тіла досягли землі одночасно. До цього експерименту вважалось, згідно думки Аристотеля, що легкі тіла падають з висоти повільніше за важкі. Основні висновки, зроблені за результатами експерименту Галілея, такі:

– всі тіла при падінні рухаються однаково: почавши падати одночасно, вони рухаються з однаковою швидкістю;

– рух відбувається з постійним прискоренням.

Чому ж на практиці листок з дерева падає повільніше за камінь? Загадка криється у формі предметів та у відповідному спротиві повітря. Галілей розумів важливість виключення впливу спротиву повітря, і тому порівнював лише схожі за формою тіла. Пізніше, вже після експериментів Галілея, були винайдені повітряні насоси, які дозволили провести експерименти із вільним падінням у вакуумі. Ньютон провів більш досконалий експеримент, викачавши повітря із довгої скляної трубки, і кинув туди одночасно пташине перо і золоту монету. Навіть настільки різні за структурою та масою тіла падали із однаковою швидкістю.

У точних науках ознаки і властивості зазвичай характеризуються кількісними характеристиками. Результатом порівняння деяких властивостей x та y може бути висновок:

1. Властивості x та y тотожні;
2. Властивості x та y відмінні.
 - 2.1. $x > y$;
 - 2.2. $x < y$;
 - 2.3. інший варіант, коли, наприклад, x та y лежать у комплексній площині.

Для такого порівняння необхідно переходити до вимірювань, щоби одержати кількісні показники, які характеризують об'єкт.

Приклад. Порівняння чисел.

Якщо оперувати деякими раціональними числовими величинами x та y , $x \geq y$, то результат їх порівняння в деякому сенсі можна охарактеризувати співвідношенням

$$C = (x - y) \pmod{n},$$

де C , n – деякі натуральні числа. Тобто C – залишок від ділення різниці між x та y на число n .

Інколи об'єкти порівнюють із еталоном. Тоді особливої важливості набувають кількісні характеристики оцінюваних об'єктів, і в результаті в якості способу дослідження використовується вимірювання.

Порівняння може бути суто умовним прийомом, який дозволяє дослідити якусь закономірність. Розглянемо, наприклад, порядок Шарковського. Знак $<$, який використовується нижче, має на увазі не в сенсі звичайного порівняння чисел, а в сенсі порядку Шарковського.

Приклад. Теорема Шарковського – теорема з теорії динамічних систем, доведена в 1964 році Олександром Миколайовичем Шарковським. До речі, цей видатний вчений й досі плідно працює в інституті математики НАН України. Теорема була першим загальним результатом теорії динамічних систем, при ітеруванні відображень відрізка в себе [2].

Нехай функція f відображає відрізок $[0,1]$ в себе. Як відомо з теореми про нерухому точку така функція має нерухому точку (тобто таку точку x , що $f(x) = x$). Розглянемо таке впорядкування на множині натуральних чисел – порядок Шарковського:

$$3 < 5 < 7 < 9 < \dots < 2 \cdot 3 < 2 \cdot 5 < 2 \cdot 7 < 2 \cdot 9 < \dots < 2^2 \cdot 3 < 2^2 \cdot 5 < 2^2 \cdot 7 < 2^2 \cdot 9 < \dots < 2^n < \dots < 2^3 < 2^2 < 2 < 1.$$

Теорема каже, якщо у функції f є нерухома точка степеня k (тобто існує x такий, що $f^k(x) = x$, але $f^i(x) \neq x$, $i = 1, \dots, k-1$, де f^k – композиція k функцій f), то у цієї функції є нерухомі точки усіх степенів (тобто цикли всіх періодів), які більші ніж k в цьому порядку (в сенсі Шарковського). Порядок Шарковського – це важливе відкриття, яке свідчить про складність структури одновимірних динамічних систем. З неї слідує, що якщо одновимірне відображення f має цикл періоду 3 (нерухому точку степеня 3), то воно має і цикли всіх інших періодів, перелічених після 3 в порядку Шарковського,

в тому числі і нескінченних. Наслідок з теореми полягає в тому, що 3 є «найголовнішим» числом в сенсі впорядкування Шарковського, і цикли періоду 3 у відображеннях свідчать про наявність також і хаотичного руху.

1.3. Вимірювання

Існує лише те, що можна виміряти.

Макс ПЛАНК

Вимірювання є дуже важливим елементом наукового дослідження. У точних науках, що працюють із емпіричними фактами, зокрема у фізиці, існує така негласна угода, що дійсно перевіреним та вартим довіри знанням є таке, що підтверджується вимірюваннями. Адже те явище, що неможливо виміряти, є пізнаним не до кінця, і залишає місце для сумнівів.

Під вимірюванням будемо розуміти дії, виконувані за допомогою засобів вимірювань з метою знаходження числового значення вимірюваної величини у прийнятих одиницях.

Для вимірювань необхідно мати:

- доступ до об'єкта вимірювань;
- одиницю вимірювань (тобто, фактично, еталонний об'єкт);
- вимірювальний прилад;
- методику вимірювань;
- власне, спостерігача, який здійснюватиме вимірювання.

Відрізняють прямі та непрямі вимірювання. Прямі вимірювання - це такі, що здійснюються безпосередньо (виміряти температуру градусником, виміряти довжину лінійкою). Під непрямыми тут маються на увазі вимірювання, одержані на основі відомої залежності між величиною, що знаходиться, і безпосередньо вимірюваними величинами. Наприклад, вимірявши радіус кола лінійкою ми можемо зробити висновок про довжину окружності.

Вимірювання дають велику кількість інформації про оточуючий світ. Їхня цінність напряду пов'язана із точністю. Якість вимірювань характеризується, окрім точності, також: достовірністю, правильністю, збіжністю та відтворюваністю. Правильність – це відсутність або близькість до нуля систе-

матичних похибок у результатах вимірювань. Збіжність – це якість вимірювань, яка показує близькість одне до одного результатів вимірювань однієї й тієї ж величини, виконаних одними й тими самими засобами та методом в ідентичних умовах з однаковою ретельністю. Відтворюваність – це якість вимірювань, що показує близькість результатів вимірювань однієї й тієї ж величини, відтворених у різних умовах (в різний час, різними засобами).

Точність вимірювань залежить від **похибок**, що виникають у процесі їх здійснення. Розрізняють такі види похибок:

- Абсолютна похибка – різниця між вимірним та істинним значеннями, виражена у одиницях вимірюваної величини. Оцінюється по модулю.

- Відносна похибка – відношення абсолютної похибки до істинного значення вимірюваної величини.

- Систематична та випадкова похибки вимірювань.

- Інструментальна похибка (визначається якістю приладів вимірювань).

- Похибка методу вимірювання.

- Похибка методу настройки.

- Похибка повірки приладу.

- Суб'єктивна похибка (похибка оператора).

- Похибки внаслідок впливу оточуючого середовища.

- і таке інше.

Цей перелік можна продовжувати та деталізувати. Він свідчить про те, що вимірювання є складним процесом, забезпечення точності якого залежить від багатьох факторів.

Точність вимірювального приладу – це метрологічна характеристика приладу, яка визначається похибкою вимірювання, в межах якої можливо забезпечити використання даного приладу. Прилад характеризується «класом точності». Це узагальнена характеристика засобу вимірювань, яка визначається діапазонами основних (що виникають в межах нормальних умов функціонування приладів) та додаткових (що виникають при впливах поза межами норми) похибок, а також іншими властивостями, що впливають на точність.

Клас точності (визначається метрологічними стандартами) характеризує властивості приладу, за допомогою якого здійснюються вимірювання, однак не є показником точності самих вимірювань.

Точність вимірювань – це якість вимірювань, що показує їхню близькість до істинних значень. Кількісно точність a визначається так:

$a = 1/\delta$, де δ – це модуль відносної похибки.

Наприклад, якщо відносна похибка вимірювань визначається показником 10^{-7} , то точність вимірювань становить 10^7 .

Наявність потрібної апаратури, приладів є дуже важливим фактором досліджень. Деякі дослідження гальмуються на певний час саме внаслідок того, що немає змоги одержати деякі складні прилади; або технологічно поки що неможливо їх сконструювати.

Приклад. Надточні вимірювання. За допомогою надточних вимірювань стає можливим відкрити ті таємниці навколишнього світу, які раніше були приховані. Наприклад, журнал *Nature Photonics* повідомляє, що японськими дослідниками нещодавно було створено годинник, який працює на атомах стронцію, що вимірює час із такою точністю, що розсинхронізація двох екземплярів таких годинників на 1 секунду можлива лише за 16 млрд років. Принцип роботи атомного годинника заснований на тому, що як одиницю вимірювання часу беруть коливання атомів. У звичайному механічному годиннику час вимірюється коливанням маятника. Слід зауважити, що попередня версія атомного годинника працювала на атомах цезію, а стронцієвий годинник у 1000 разів точніший за свого попередника. (Сучасний стандарт часу заснований на частоті електромагнітної хвилі, яка випромінюється атомом цезію-133 при переході електрона між двома надтонкими рівнями основного стану). Надточний годинник може бути використаний для вимірювань гравітаційного уповільнення часу на основі парадокса Ейнштейна.

Приклад. Слабкі вимірювання в квантовій механіці. Вимірювання не завжди є рутинною задачею. Інколи для того, щоб вирішити проблему вимірювань, слід застосувати творчий підхід. В квантовій механіці прийнято вважати, що будь-які вимірювання змінюють стан спостережуваного квантового об'єкта. Тобто, вимірювання призводить до сильного збурення системи, і змінює її поточний та наступний стани. Тому Якіром Аароновим, Давидом Альбертом та Львом Вайдманом в 1988 році була запропонована ідея слабких вимірювань та слабких величин [3]. Слабкі вимі-

рювання є типом квантово-механічного вимірювання, де вимірювана система слабо зв'язана із вимірювальним приладом. Після здійснення такого вимірювання вказівник вимірювального приладу виявляється зміщеним на так звану «слабку величину», а система виявляється не сильно спотвореною. Підхід слабких вимірювань використовується для визначеного типу квантових систем, і здійснюється при додержанні певних обмежень. Зокрема, слабкі вимірювання можуть показувати поведінку великої кількості часток в однаковому стані, але не можуть надавати інформацію про окремі частки.

Приклад. Експеримент стосовно парадоксу Чеширського кота. Розглянемо приклад про те, наскільки важливим та складним може бути вимірювання в сучасному експерименті. Журнал *Nature Communications* опублікував результати незвичайного експерименту, який вдалось здійснити фізикам Франції, Австрії та США в Інституті Лауе-Ланжевена (Гренобль, Франція). А саме, вдалось провести експеримент з вимірювання магнітного моменту нейтрона незалежно від положення самого нейтрона. Вчені розділили жмуток нейтронів на два залежно від орієнтації спінів часток у них: напрямки одних співпадали із напрямком зовнішнього магнітного поля, а інші були протилежні до нього. В результаті проведення серії вимірювань, що включали до себе слабкі вимірювання, вченим вдалось відслідкувати в одному із жмуків сліди часток із другого жмутка так, якби вони там дійсно були. Під словом «відслідкувати» мається на увазі виміряти поляризацію нейтронів у магнітному полі. Слабкі вимірювання мало збурюють частки, однак недолік слабких вимірювань полягає в тому, що точність одержуваних результатів зменшується, і слід виконувати велику кількість вимірювань. У цьому експерименті вдалось виконати всі умови за рахунок потужного джерела нейтронів. Серед приладів, використаних у експерименті, був нейтронний інтерферометр – прилад, який дозволяє спостерігати хвильові властивості нейтральних нуклонів (протон і нейтрон розглядаються як два різні стани нуклона): єдиний жмуток нейтронів пропускається через інтерферометр, де розділяється на два, які інтерферують між собою та призводять до утворення відповідної картини. Із точки зору квантової механіки

це є проявом корпускулярно-хвильового дуалізму, а поняття траєкторії частки тут втрачає сенс, адже нейтрон може бути одночасно у двох жмутках.

Отже, можна зробити висновок, що вимірювання дають багато інформації досліднику: вони дозволяють зробити не лише кількісні, але й якісні висновки, спрямувати дослідження вірним шляхом. Саме вимірювання постачають значення параметрів для подальшого математичного моделювання; забезпечують вихідні дані для обчислювальних методів досліджень.

1.4. Експеримент



Верховним суддею будь-якої фізичної теорії є дослід. Без експериментаторів теоретики скисають.

Лев Давидович ЛАНДАУ

Експеримент – це дослідження явищ навколишнього світу шляхом активного впливу на них за допомогою створення нових умов, які відповідають меті дослідження, або шляхом корекції протікання процесу в потрібному напрямку. Цей метод емпіричних досліджень найбільш складний та ефективний, а спирається він на більш прості методи: спостереження, порівняння та вимірювання. Основною рисою цього метода є цілеспрямоване, умисне втручання експериментатора в процес у відповідності із метою дослідження.

Примітка. Експеримент у науці не одразу зайняв чільне місце – довгий час науковці Нового часу протистояли впливу ан-

тичного способу мислення та середньовічної схоластики [4]. Наприклад, філософ-матеріаліст Френсис Бекон був противником експерименту, хоча й підтримував практичний досвід як критерій істини. Засновником експериментальної науки вважається Галілео Галілей, що вважав, що саме практика є основою пізнання світу. Серед результатів експериментів Галілея – встановлення законів інерції, вільного падіння, руху тіл по похилій площині, та інші. Також Галілей побудував телескоп та відкрив гори на Місяці, декілька супутників Юпітера, дослідив фази Венери та навіть плями на Сонці.

Важливу пізнавальну роль в експерименті відграють прилади, що застосовуються під час дослідження. Використання приладів може бути необхідним внаслідок ряду причин:

- Обмеженість людських можливостей з інтерпретації інформації із зовнішнього світу за допомогою лише органів відчуттів;
- Необхідність перетворення інформації у форму, доступну для дослідження;
- Необхідність створення «штучних» (контрольованих) умов для проведення експерименту;
- Одержання кількісних характеристик об'єкту дослідження (вимірювальні прилади).

Під приладом будемо мати на увазі пізнавальний засіб штучного чи природного походження, який дослідник використовує специфічним способом для одержання інформації від об'єкту досліджень.

Прилади можна розділити на два класи: якісні та кількісні. Якісні прилади необхідні для підсилення можливостей сприйняття органів чуттів (мікроскоп, телескоп, спектрометр тощо). Кількісні прилади визначають кількісні характеристики об'єкту дослідження (різноманітні вимірювачі).

Якісні прилади поділяються на:

- Підсилювачі (наприклад, телескоп; підсилювач мережевого сигналу);
- Аналізатори (наприклад, аналізатор міжмережного трафіку; спектроскоп);
- Перетворювачі – особливий тип приладів для аналізу середовищ, інформація від яких у сприйнятному для людини вигляді не може бути одержана без перетворень (ультразвук, електромагнітне поле);

– Прилади-реєстратори – для фіксації, запам'ятовування та зберігання інформації, одержаної від об'єкта (пам'ять комп'ютера, фотоапарати для реєстрації візуальних образів). Ці прилади можуть бути як аналогового, так і цифрового типу, і використовуються для того, щоб у дослідника була можливість багатократно повертатись до необхідного моменту спостережень за об'єктом;

– Вимірювальні інформаційні системи. Це комплекси пов'язаних між собою приладів, які виконують поставлені дослідниками групи задач, чи спрямовані на розв'язання якоїсь однієї спільної задачі. Цими системами реалізуються задачі вимірювань, ідентифікації та контролю.

Приклад. Під час повного сонячного затемнення науковці намагаються зробити якомога більше реєстрацій (фотографій) сонячної корони, щоби багатократно повертатись до аналізу цього об'єкта в подальших дослідженнях.

Інформація, яку одержує дослідник за допомогою приладу, може бути прийнятою, лише якщо:

- Принципи конструкції приладу достовірні;
- Прилад працює вірно.

Роль приладів у квантовій механіці. Основною функцією приладів є фіксація станів об'єкта шляхом спостереження або вимірювання. При відкритті квантовомеханічних принципів існування світу постало багато питань щодо ролі приладу, а значить, і спостерігача, який сприймає інформацію від приладу. Вважається, що будь-яке вимірювання змінює стан квантового об'єкту, і внаслідок цієї особливості вчені сформулювали парадокси, які примушують замислитись, як саме впливають на систему вимірювання, а також, яку роль відіграє той, хто виконує самі вимірювання [5]. Більш того, ставиться запитання, чи має свідомість оператора вплив на об'єктивну реальність. Розглянемо, яке підґрунтя мають такі запитання, і якої точки зору дотримується офіційна наука.

Розглянемо деякі принципи – постулати квантової механіки, щоб зрозуміти сутність проблеми. В одному з постулатів стверджується, що в квантовій механіці стан фізичної системи визначається не значеннями, а розподілами імовірності значень відповідних вимірюваних величин. З цього слідує, що одне вимірювання нічого не каже про стан системи, і щоби визначити розподіл імовірності шляхом вимірювань, слід виконати достатньо об'ємну серію вимірювань. Шляхом обчислень це можна зроби-

ти за допомогою «імовірнісної інтерпретації хвильової функції». Це уявлення про квантові системи та вимірювання прийняте в середовищі фізиків. Тут приймається, що квантова механіка є повною, і до окремих квантових об'єктів слід застосовувати імовірнісний тип опису. Однак, стан квантової системи існує незалежно від того, вимірюється він чи ні. Це формулювання вільне від парадоксів, і, відповідно, не виникає запитань про роль оператора вимірювань у формуванні стану квантової системи [6].

Однак, є інша, широко розповсюджена (в тому числі і серед фізиків) традиція обговорення проблем квантової механіки, де розглядаються й парадокси, наприклад, парадокс «кота Шредингера» та інші. Ці парадокси виникають внаслідок проблеми колапсу (редукції) хвильової функції, і деякі вчені, намагаючись їх розрішити, вдаються до міркувань про роль свідомості спостерігача, і навіть про необхідність включення фактора свідомості спостерігача в формалізм квантової механіки [7]. Існує ідея, що об'єктивну реальність та суб'єкта не можна розділяти (частково ця ідея фігурує і в Гейзенберга, одного із основоположників квантової теорії). Такі ствердження переводять проблему вимірювань квантових об'єктів із сфери точних наук до сфери філософських, світоглядних питань.

Отже, проблема вимірювань квантової системи в сучасній фізиці може розглядатись у двох варіантах. Коли прилади, і оператор, що маніпулює ними розглядаються а) відокремлено від об'єкта вимірювань; б) у взаємозв'язку із об'єктом вимірювань.

Варіант а) використовується при проведенні експериментів із квантовими системами, при виконанні досліджень. Цей варіант прийнятий класичною наукою. Адже що таке «свідомість» із точки зору науки поки що неможливо відповісти вичерпно.

Варіант б) використовується для міркувань про філософсько-світоглядні проблеми, які породжуються квантовою механікою. Як результат, виникають різноманітні ідеї, наприклад: «Кожне вимірювання квантової системи породжує розщеплення свідомості спостерігача і розщеплення об'єктивної реальності на світи, кожному із яких відповідає спостерігач із своїми результатами експерименту». Це уявлення впливу вимірювань відповідно до екзотичної багатосвітової інтерпретації Еверетта–Уїлера–ДеВітта.

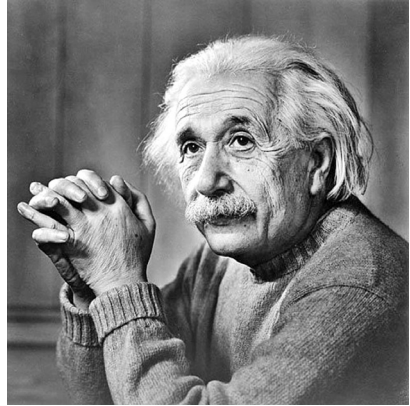
Однак, точна наука повинна бути об'єктивною, і спиратись лише на підтверджені, наукові факти. Інше залишається цікавими, хвилюючими, але просто припущеннями.

2. Способи наукового дослідження на етапі побудови теорії

2.1. Визначення та будова теорії

Теорія – це коли все відомо, але нічого не працює. Практика – це коли все працює, але ніхто не знає чому. Ми ж поєднуємо теорію і практику: нічого не працює...і ніхто не знає чому!

Альберт ЕЙНШТЕЙН



Яким чином виникає теорія? Інколи все починається із випадковості, яка нашоухе дослідника на роздуми. Потім будується гіпотеза, яка привертає увагу науковців.

Що собою являє гіпотеза? Розглянемо точку зору на це великого математика, механіка, фізика, астронома та філософа Анрі Пуанкаре [8]. Будь-яка гіпотеза це узагальнення, яке потребує перевірки. Якщо гіпотеза не підтверджується, то вона має бути відкинута, хоча її практичні можливості можуть бути використані в подальших дослідженнях. Завдяки гіпотезам, кожен спостережуваний факт дозволяє передбачати велику кількість інших, однак, із достовірності одиничного факту не слідує достовірність гіпотези. Тому всі передбачені гіпотезами факти не істинні, а лише імовірні. Однак, Пуанкаре вважав, що краще передбачити без особливої впевненості, ніж не передбачати взагалі. Сам вибір гіпотези заснованих на двох постулатах – єдності природи, що відкриває можливість передбачень; і на принципі простоти – який забезпечує можливість вибору найбільш імовірної гіпотези. В цілому ж, вважає Пуанкаре, в більшості випадків фізик знаходиться в стані гравця, який розраховує свої шанси, адже застосовуючи, наприклад, індуктивні виводи, він неявно використовує теорію ймовірностей.

За гіпотезою різними дослідниками можуть накопичуватись різноманітні факти, міркування, логічні висновки, формулюватись закони, які перевіряються досвідом. Вся ця множина знань об'єднується однією спільною ідеєю, і впорядковується

в рамках теорії. Між елементами наукового знання в теорії існують взаємозв'язки – є базові елементи, які очевидні або доведені пізніше; є похідні елементи – одержані на основі базових за допомогою правил, логічних міркувань, прийнятих у даній теорії, істинність яких базується на істинності посилок, з яких їх одержано. Іноді науковий елемент формулюється, виходячи з інтуїції дослідника, а лише потім встановлюється його зв'язок із іншими, перевіреними елементами теорії. Так є в разі доведення теорем. Теореми спочатку можуть формулюватись у виді гіпотез, а потім доводиться.

Іноколи виникнення теорії відбувається внаслідок руйнування якоїсь іншої, застарілої теорії, при докорінному її перегляді. Нова теорія повинна ліквідувати недоліки старої, та пояснити ті суперечності, які не могла пояснити стара.

У наш бурхливий вік розвитку науки та техніки часто буває, що увагу дослідників привертають якісь нові області знань, які раніше знаходились поза увагою (наприклад, області на стику різних наук). Тоді науковці цілеспрямовано починають одержувати наукові результати, які заповняють пробіл у знаннях, і можливо, стануть початком нової теорії.

Дамо визначення теорії.

Наукова теорія – це система знань, яка описує та пояснює визначену сукупність явищ, дає обґрунтування усіх висунутих положень та зводить відкриті в даній області закони до єдиного підґрунтя [4].

Теорій на теперішній час існує велика кількість. Деякі з них добре відомі, мають потужний апарат, та підтвердження власної істинності. Деякі знаходяться в стані становлення, відкриття нових фактів, формулювання гіпотез. Теорія відносності, теорія ймовірностей, квантова теорія, теорія катастроф, М-теорія, теорія систем, теорія ігор ... Навіть із невеликої кількості перелічених тут теорій не всі мають справу із емпіричними явищами – деякі працюють із явищами абстрактними. Наприклад, під назвою «катастрофи» криються стрибкоподібні, якісні зміни у розв'язку диференціального рівняння при кількісній зміні параметрів.

Основними рисами наукової теорії є наступне [9,10]:

- Наявність знань про визначений предмет або визначену групу явищ. Поєднання знань в теорію визначається її предметом.
- Можливість пояснити відому сукупність фактів, відкрити закономірності їх існування; а не лише можливість їх описати.

- Наявність здатності прогнозувати явища та процеси, передбачувати навіть ті явища, які поки що невідомі.

- Об'єднаність всіх головних положень теорії спільною ідеєю, наявність спільної бази.

- Наявність інструментарію (формального чи логічного), яким може користуватись дослідник для одержання нових знань.

- Обґрунтованість всіх положень наукової теорії.

Структура наукової теорії може бути такою:

- База теорії – аксіоми, принципи тощо.

- «Кістяк» теорії – закони, ключові поняття, визначення, основний зміст теорії.

- Ідеї, припущення, положення, що ще чекають на своє підтвердження.

- Світоглядні ідеї.

Всі теорії поділяються в залежності від предмета дослідження на ті, що вивчають закономірності об'єктивного світу, і такі, що вивчають суб'єктивний світ (внутрішній світ людини). Теорії, що є інструментами пізнання в точних науках, зазвичай вивчають об'єктивний світ.

Також можна виділити такі типи теорій:

- феноменологічні;

- нефеноменологічні (динамічні).

Феноменологічні теорії відповідають на запитання «як відбувається той чи інший процес?» Динамічні же теорії відповідають на питання «чому саме так відбувається цей процес?», а отже, виявляють механізми взаємодій між різними об'єктами. Таким чином, науковий потенціал динамічних теорій щодо одержання нових знань, виявлення нових закономірностей більш високий.

Феноменологічні теорії – це теорії про реально існуючі явища, що слідує з самої назви (феномен – означає явище). Цим теоріям не властиві звертання до штучних конструкцій, штучних задач, а скоріше притаманна велика кількість описових міркувань, висновків на основі спостережень за природою явищ.

В точних науках більшість використовуваних теорій є динамічними, оскільки точним наукам притаманні задачі, що вимагають не лише описання, а й виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

Однак, бувають і виключення. Ряд теорій, які ми звикли вважати такими, що встановлюють повну картину причинно-наслідкових зв'язків в природі досліджуваних явищ, насправді такими не є.

Приклад. Саме для феноменологічного підходу характерне створення теорії для спостережуваних явищ, в якій не звертають уваги на процеси «більш низького рівня» – ці процеси можуть просто вважатись «чорною скринькою». І така теорія може бути використовувана в точних науках, якщо вона дає правильний опис явищ. Наприклад, у фізиці використовують термодинаміку. Хоча дійсно пояснює природу явищ фізична кінетика, яка є мікроскопічною теорією процесів в нерівноважних середовищах і розглядає термодинамічні явища на основі атомно-молекулярної теорії. Але вона з'явилась відносно нещодавно, тоді як термодинаміка виникла до того, як атомарна теорія будови речовини стала загальноновизнаною. Однак, термодинаміка дає вірні описи теплових процесів, і вдало використовується в практичних та науково-технічних задачах. Частину параметрів при цьому беруть із дослідів, а не з розрахунків (наприклад, теплоємності). Ці параметри вважаються властивостями речовини.

2.2. Абстрагування

Комплексні числа – це прекрасний та чудесний прихисток Божественного духа, майже амфібія буття із небуттям.

Готфрід Вільгельм ЛЕЙБНІЦ



Для того, щоб дослідити конкретне явище, буває необхідним відволіктись від несуттєвих його проявів, і зосередитись на деяких найбільш суттєвих. До того ж, необхідно перейти від конкретних, практичних понять до більш загальних, універсальних. Цей перехід називається абстрагуванням.

У маленьких дітей практично відсутня здатність сприймати абстрактні речі. Поступово ця здатність з'являється, від конкретики людина переходить до розуміння все більш узагальнених та абстрактних понять. Свідченням того, що розум сприймає абстрактні поняття, є засвоєння чисел без ув'язки із кількістю конкретних предметів. Такі поняття як «нескінченність», «абсолютно чорне тіло», «тензор n -го рангу» та інші важко в повній мірі осягнути розуму навіть дорослої людини, оскільки в повсякденному житті ми не стикаємось із подібними поняттями.

Серед точних наук є такі, що більш наближені до конкретики, часткових випадків, а є й такі, що оперують найвищими абстрактними поняттями. Однією із таких наук, де рівень абстрагування є дуже високим, є математика. Тут ми відволікаємось від знайомого для нас світу із трьома просторовими вимірами та часом, і переходимо до n -вимірних просторів, комплексних чисел із уявною одиницею, операторів, кілець, полів та інших абстрактних понять. Ці поняття, звичайно, можуть знайти застосування в реальних задачах, однак оперування ними не прив'язане до жодного емпіричного досвіду.

Приклад. Відповідність між поняттями практичного та абстрактного мислення наведено у таблиці.

Таблиця 2.1. Зв'язок між практичним та абстрактним

Конкретне мислення	Абстрактне мислення	Можливий варіант абстракції (залежить від постановки задачі)
Сумах оленерогий, висаджений у 1980 р., що росте на перехресті просп. Миру та вул. Будівельників	Дерево	Фрактальне утворення із визначеною функцією та коефіцієнтом самоподоби
Мережа лабораторії захисту інформації з робочими станціями із характеристиками Intel Core i7, 4GB ROM, Radeon HD5670, 500 GB HD	Сукупність зв'язаних обчислювально-запам'ятовуючих пристроїв	Клітинковий автомат із заданими зв'язками та правилами переходів
Десять аудиторій, десять теорем, десять слоненят	Множина різnorідних об'єктів	$E\{x,y,z\}$, $x,y,z \in Z$, $x=y=z=10$. <u>Примітка:</u> оперування числами без вказання, до яких конкретних об'єктів вони відносяться, теж є проявом абстрактного мислення

Рівень абстрагування може бути різним, його ступінь залежить від конкретних завдань дослідження. Інколи для того, щоб розв'язати задачу, необхідно перейти до найвищого рівня абстракції, коли проблема досліджується у виді, що є відірваним від практичного підґрунтя. Це робиться для того, щоб зосередити основну увагу на найбільш значущому предметі дослідження, і повністю відволіктись від не настільки важливих властивостей об'єкта. Вважається, що найбільш абстрактний вигляд явища можна одержати за допомогою математичного апарату. Застосування цього апарату відбувається таким чином, щоб одержана абстракція давала дослідникові можливість після одержання розв'язку повернутись до конкретики явища, яке вивчалось, та проінтерпретувати результат в практичному сенсі.

Основні види абстракції, які зустрічаються в точних науках, це:

- ізолююча абстракція – така, що виділяє досліджуване явище із деякої цілісності;
- узагальнююча абстракція – така, що дає узагальнену картину явища;
- ідеалізація – заміщення реального (емпіричного) явища ідеалізованим описом.

2.3. Індукція та дедукція

*Фламінго кусючий, як гірчиця.
Звідси мораль: це птиці одного
польоту!*

Льюїс КЕРРОЛ,
«Аліса в країні чудес»



В логічних повсякденних міркуваннях часто використовують перехід від часткових тверджень до більш загальних, і навпаки, від загальних тверджень до часткових. Вважається, що індуктивний умовивід зв'язує часткові посилення із висновка-

ми не строго через закони логіки, а скоріше через деякі фактичні, психологічні чи математичні припущення та уявлення [11].

В точних науках теж використовують подібні прийоми, і називають їх індуктивним та дедуктивним виводами. Розглянемо детальніше, що саме вони собою являють, і яких правил слід дотримуватись, щоби судження, одержані методами індукції та дедукції, були вірними.

Індукція – це метод руху від менш загальних знань до більш загальних. В якості посилок висновків за індукцією використовують множину певних спостережень або фактів. Вважається, що термін «індукція» ввів Сократ, хоча він розумів дещо інший спосіб міркувань під цією назвою. Більш відповідно та детально розглянув особливості індуктивного виводу Аристотель, який відрізняв повну та неповну індукцію.

Приклад. У 18 ст. Антуан Лоран Лавуазьє зробив висновок, що всі речовини можуть перебувати у одному з трьох станів – твердому, рідкому та газоподібному. Цей індуктивний висновок був зроблений на основі численних спостережень різних речовин, що знаходились у різних станах.

Повна індукція – метод доведення, при якому твердження доводиться для скінченної кількості часткових випадків, які вичерпують усі можливості.

Схема повної індукції така: нехай множина A складається з елементів: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$. A_1 має властивість B , A_2 має властивість B , і так далі, всі елементи від A_3 до A_n також мають властивість B . Висновок: всі елементи множини A мають властивість B .

Неповна індукція – спостереження за окремими частковими випадками, які наводять на гіпотезу. Гіпотезу ще слід довести, наприклад, методом математичної індукції.

Схема неповної індукції така: нехай множина A складається з елементів: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$. A_1 має властивість B , A_2 має властивість B , і так далі, всі елементи від A_3 до A_k , $k < n$, також мають властивість B . Висновок: імовірно, всі елементи множини A мають властивість B .

Приклад. Наведемо зразки одержання невірних висновків за методом неповної математичної індукції.

1) На планету Фукс висадились група космічних мандрівників-землян. Фуксіани, що вийшли привітати прибульців,

помітили, що у всіх представників команди землян русяве волосся та світлі очі. І зробили висновок, що всі земляни, скоріше за все, русяві та світлоокі створіння.

2) Студент Матвій приїхав до бабусі. Бабуся пригостила Матвія гарбузовою кашею. Матвій її з'їв. Іншого разу Матвій приїхав до бабусі. Вона знов пригостила його гарбузовою кашею. Матвій її з'їв. Так відбувалось ще декілька разів. А на день народження Матвію бабуся привезла великий глек гарбузової каші, адже онук її так любить! Матвій не витримав і сказав: «Бабуню, вибач, але на день народження я нарешті хочу скуштувати щось інше!».

В точних науках, зокрема у математиці, широкого застосування набув метод математичної індукції, що використовується для того, щоби довести істинність деякої послідовності тверджень R_i , $i=1,2,\dots,n, n+1, \dots$ для всіх натуральних чисел $i \in N$.

Хід метода математичної індукції такий:

1. Спочатку перевіряється істинність твердження для $i=1$. Це так званий базис індукції.

2. Потім припускається, що твердження істинне для $i=n$, $n \in N$.

3. Потім робиться індукційний перехід: якщо вірний попередній пункт, то доводять, що твердження вірне при $i=n+1$.

Дедукція – це спосіб дослідження, за допомогою якого роблять логічний вивід часткових положень із загальних положень. В практичному, повсякденному мисленні дедукція використовується набагато рідше, ніж індукція, в силу того, що одержати загальні положення на основі лише повсякденного досвіду складно, або неможливо. Натомість, у математиці, та природничих науках, що використовують математичні методи, застосування дедукції є розповсюдженим методом.

Дедуктивні та індуктивні міркування

В математичній логіці часто використовують одержання нових умовиводів на основі методів індукції та дедукції.

Рене Декарт вважав, що дедукція сприяє відкриттю нового істинного знання, якщо вона робить висновки із достовірних та очевидних положень, якими є математичні аксіоми. В роботі «Міркування для доброго спрямування розуму та відшукування істини в науках» ним сформульовані чотири основні правила будь-якого наукового дослідження:

1) істиною слід вважати лише те, що перевірене та доведене;

2) слід подрібнювати складне на просте (аналіз);

3) слід сходити від простого до складного (синтез);

4) треба досліджувати предмет всебічно та детально.

Математик, фізик, мовознавець та дипломат Готфрид Вільгельм Лейбніц стверджував, що дедукцію слід застосовувати не лише в математиці, а й у інших галузях знань. Він мріяв про раціоналізацію будь-якої емпіричної науки, і намагався створити для цього універсальну символічну мову. Як виявилось, створення такої мови неможливе, однак сама ідея про формалізацію емпіричних суджень поклала початок символічній логіки.

В дедуктивних міркуваннях вважається, що якщо передумови вірні, то логічний вивід із них теж є вірним.

Приклад. Всі студенти вміють працювати на ЕОМ. Іван Петрович – студент. Логічний вивід: Іван Петрович вміє працювати на ЕОМ.

Цей приклад можна охарактеризувати, як приклад одержання часткового із загального. Однак, дедуктивні висновки не обмежуються лише таким способом, і часто використовуються інша дедуктивна схема – правило *modus ponens*. Схема полягає в наступному: В слідує з А. А – істинне. Значить, В – істинне.

Приклад. Якщо увімкнувся пристрій резервного живлення (А), то напруга в мережі недостатня для приладів (В).

Пристрій резервного живлення спрацював – ми це чуємо по звуковому сигналу. Значить, можна зробити висновок, що напруга в мережі «стрибнула».

В індуктивних логічних міркуваннях висновки зазвичай слідує із передумови із деякою імовірністю.

Приклад. 90% випускників нашого ВУЗу працюють за спеціальністю. Я – випускник нашого ВУЗу. Значить, скоріше за все, я працюю за спеціальністю.

Дедуктивні та індуктивні правила логічних виводів використовуються при побудові формальних мов та логік, як їхня складова. І, в результаті, використовуються в різноманітних експертних системах при одержанні висновків та прийнятті рішень, при розв’язанні задач штучного інтелекту.

2.4. Екстраполяція

Математика не лише проникає в раніше чужі для неї області, «завойовує» їх – вона при цьому й сама трансформується, становиться менш формальною.. змінює свої методологічні риси, наближаючись до наук гуманітарних.

Олена Сергіївна ВЕНТЦЕЛЬ



Екстраполяція в загальнонауковому сенсі – це примноження знань шляхом розповсюдження наслідків якоїсь теорії чи гіпотези з однієї області досліджень на іншу. Вважається, що здатність гіпотези до екстраполяції її на інші області є непрямим підтвердженням її істинності.

Дуже часто виникає необхідність застосувати знання із однієї області науки у іншій області науки. Тоді ці знання екстраполюються, розповсюджуються на нові галузі, трансформуються таким чином, щоб за їхньою допомогою можна було розв'язати нові задачі. Тут під знаннями маються на увазі не лише якості факти та твердження, а також і методи й алгоритми.

Екстраполяція може здійснюватись наступними способами:

1. Як перенос якісних характеристик досліджуваного явища із однієї галузі науки в іншу, на інше явище;
2. Як перенос знань із теперішнього та минулого часу на майбутнє (екстраполяція цілком може слугувати для прогнозу);
3. Перенос кількісних характеристик, розповсюдження на інші кількісні особливості (наприклад, від простору розмірності 1 перейти до просторів розмірності n);
4. Розповсюдження, перенос моделей, методів на інші сфери, за умови математичної подоби явищ;

5. Перенос загальних суджень, законів на інші явища оточуючого світу.

Границі застосування тієї чи іншої природничої теорії мають бути ширшими, ніж той досвід, на якому вона базувалась першопочатково. Це витікає з того, що теорія – це інструмент пізнання, який має бути застосовним до різних галузей.

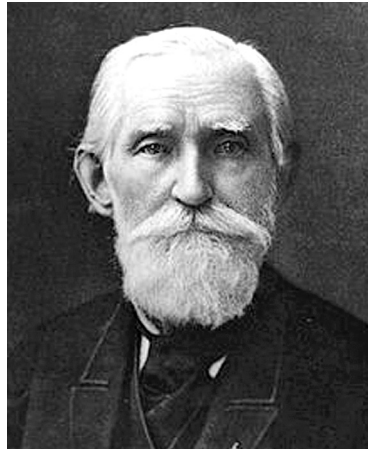
Приклад. Закон теплового випромінювання Планка, відповідно якому енергія випромінювання може передаватись лише окремими порціями – квантами, був екстрапольований Альбертом Ейнштейном на іншу область явищ, зокрема виявилось, що цей закон дозволяє пояснити природу фотоэффекта.

Звичайно, процесу екстраполяції знань передую дослідження, чи правомірно переносити досвід та знання із однієї області в іншу.

2.5. Ідеалізація

Будь-яке співвідношення між математичними символами відображає відповідність між реальними речами; математичне міркування рівнозначне експерименту бездоганної точності, повтореному необмежену кількість разів, і повинно приводити до логічно та матеріально безпомилкових висновків.

Пафнутій Львович ЧЕБИШЕВ



Слова, наведені вище, без сумніву, стосуються прийому ідеалізації, а конкретніше, математичної ідеалізації. Ідеалізація теж відноситься до методів теоретичного пізнання.

За допомогою ідеалізації можна здійснити перехід від емпіричного об'єкта (тобто, такого, що зустрічається у оточуючому світі) до його теоретичного образу. З цим теоретичним образом потім і буде працювати дослідник. Між реальним об'єктом та ідеальним теоретичним образом існує суттєва

відмінність, але вона така, що дозволяє без якісного спотворення дослідити властивості реального об'єкта.

Основними кроками ідеалізації є такі:

1. Практичне чи розумове дослідження об'єкту, встановлення інваріантних властивостей при якісних та кількісних змінах інших властивостей. Наприклад, форма об'єкту не змінюється при підвищенні його температури, складу тощо. Визначення меж інваріантності.

2. Здійснення граничного переходу – відмова від розглядання несуттєвих, неінваріантних властивостей, наприклад, шляхом спрямування їх впливу до нуля.

3. Перехід до ідеалізованого (зазвичай математичного) об'єкту, точність дослідження якого задається формально. Для математичних об'єктів точність дослідження може бути як завгодно великою, однак, при переході до чисельних обчислень вона обмежується точністю обчислювальних засобів (наприклад, довжина розрядної сітки комп'ютера).

Приклад. Форма автомобільного шляху може бути із певною точністю наближена сплайн-функцією, причому похибку такого наближення можна зробити настільки малою, що вона не впливатиме на якість розв'язання задачі проектування траси. Найбільш відповідним до поняття ідеалізації є випадок, коли форма, яка лише приблизно є схожою на якусь математичну функцію, замінюється такою функцією.

Іноколи трапляється і зворотна ситуація, коли дослідник першопочатково працює із деякими ідеальними об'єктами, а потім знаходить для них прообрази у реальному світі.

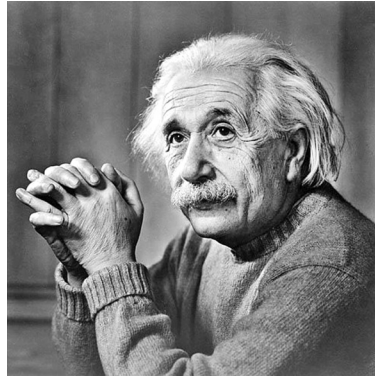
Приклад. Згадаймо появу фракталів у математиці, яка спочатку була зустрінена науковою спільнотою із деяким упередженням. Зокрема, математик Шарль Ерміт охрестив їх «монстрами», і суспільна думка визнала їх патологією, що є цікавою лише для любителів математичних дивацтв. Однак, в результаті зусиль математика Бенуа Мандельброта було відкрито безліч фракталів, за допомогою яких можна змодельовувати лісовий та гірський ландшафт, флуктуації рівня річок та серцебиття [12]. Отже, виявилось, що дивні на перший погляд математичні ідеальні об'єкти мають багато застосувань в оточуючому світі.

Якщо замислитись про відмінність ідеального та реального об'єкта, слід зауважити наступне: ніяка матеріальна

конструкція ніколи не може наблизитись до ідеально точного математичного об'єкта. На практиці це може значити, що яка б не була близька конкретна фігура до математичної абстракції, то підвишуючи точність обчислень, ми все одно побачимо відмінність між реальним та ідеальним випадком. Простіше кажучи, старанно відшліфована поверхня на перший погляд є площиною. Однак, крім того, що фізична поверхня завжди скінчена, ми можемо побачити, подивившись на неї крізь мікроскоп, значні відхилення від площини. Якщо спостерігати поверхню з мікроскопа, вона буде скоріше схожа на гірський ландшафт, ніж на площину. Ми можемо скільки завгодно обробляти фізичну поверхню, однак ідеальною площиною вона все одно не стане. До того ж, принципово важливим є те, що існує абсолютна границя наших зусиль по доведенню поверхні до ідеально гладкого стану, яка зумовлена законами природи. Навіть траєкторія світлового променя не може бути ідеальною прямою, адже світло – це потік квантів, а рух кванта, як вчить квантова механіка, не може бути співвіднесений із якоюсь визначеною у класичному розумінні траєкторією.

Для чого потрібна математична ідеалізація взагалі? Адже на практиці така точність зовсім не потрібна? Нескінченна точність потрібна математиці для того, щоб не залежати від похибок експерименту. Оскільки якою високою не була б точність інженерних розрахунків, обчислень, вимірювань та інших практичних дій, математика все одно гарантує, що її точність буде завідомо вищою. Але математичні формули теж не є повністю відірваними від практики – до них часто входять коефіцієнти, які задаються емпірично, з досвіду. Однак при проведенні математичних перетворень можна гарантувати, що досягнуту в ході експерименту точність буде повністю збережено. Задля цього і вдаються до розгляду ідеалізованих математичних образів реальних об'єктів.

2.6. Перевірка теорії



*Истина – це те, що витримує
випробування досвідом.*

Альберт ЕЙНШТЕЙН

Вважається, що перевірка теорії відбувається за допомогою, знов таки, експерименту. Тобто, теорія виникає, як результат узагальнень деяких міркувань, що виникли на основі спостережень за оточуючим світом, і перевіряється також шляхом визначення своєї несуперечливості із реальними процесами та об'єктами.

Однак, в наш час перевірка експериментом багатьох теорій не завжди можлива. Це відбувається внаслідок високої складності сформульованих гіпотез та законів, всебічно перевірити які шляхом експерименту виявляється дуже складно (тут впливає і обмеженість технічних можливостей, і недосяжність об'єкта досліджень та інші фактори).

Приклад. Не всі теорії можуть бути перевірені безпосереднім експериментом. Наприклад, теорія струн, яка намагається пояснити природу Всесвіту та відповісти на запитання «що було до Великого вибуху». Неможливість експериментальної перевірки (на поточний момент), зокрема, теорії струн пов'язана із тим, що немає таких приладів, які здатні працювати із такими мініатюрними об'єктами, які описуються теорією (розміри порядку 10^{-33} , що приблизно в 10^{26} разів менше, ніж атом водню).

Прихильники теорії сподіваються, що вона дасть змогу прогнозувати поведінку квантових систем. Випадково виявилось, що формула теорії струн для опису чорних дір є дуже схожою на математичну формулу, яка описує квантову зчепленість – явище, яке багато разів було перевірене експериментально. Тому дослідники вже мають план, яким чином можна частково пере-

вірити цю теорію при існуючих обмежених можливостях приладів.

Примітка: квантова зчепленість (заплутаність) – квантово-механічне явище, при якому квантові стани двох чи більшої кількості об'єктів виявляються взаємозалежними. Така залежність зберігається навіть при рознесенні об'єктів в просторі за межі будь-яких відомих взаємодій.

Приклад. Появи великого адронного колайдера вчені чекали довго. Вже давно був накопичений теоретичний матеріал для експериментів, однак, необхідного обладнання не було. Чому ж так довго не будували подібну експериментальну установку? Річ у тому, що побудова колайдера надто трудомістка та коштовна справа – довжина основного кільця прискорювача становить 26 659 м, в роботах брали та беруть участь понад 10000 вчених з більш ніж 100 країн. Фінансується проект частково на кошти Європейської організації з ядерних досліджень (CERN).

Інколи перевірку теорії експериментом ставлять під сумнів, оскільки інтерпретація експериментальних результатів теж розглядається в рамках якогось теоретичного знання. Отже, маємо парадокс, що теорію без теорії перевірити не виходить.

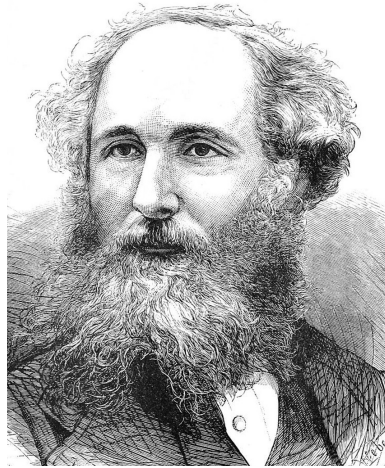
Але є й інша точка зору – що істинність теорії можна перевірити на основі наявності в неї здатності до передбачень. Тобто, з теорії логічно витікають деякі факти існування оточуючого світу, які раніше не були помічені. Ці факти можна встановити шляхом прискіпливого спостереження, і якщо вони дійсно істинні, це свідчить про істинність теорії, яка їх передбачила.

При перевірці нових теорій напрошується варіант перевірки за допомогою інших, старих та перевірених теорій [9]. Однак, така перевірка не завжди може вважатись об'єктивною, оскільки вона може бути упередженою щодо нових знань. З цієї самої причини нові теорії не завжди одразу сприймаються науковою спільнотою, оскільки інертність та консерватизм існують і в науці. Наприклад, Макс Планк запропонував квантову теорію в 1900 році, однак до виходу у світ трудів Ейнштейна (в 1905 р) та Бора (в 1913 р.), ця теорія не одержала відповідної оцінки, оскільки була дуже несхожою на до-ейнштейнівську фізику.

2.7. Розвиток теорії

Для розвитку науки потрібно в кожную дану епоху не тільки, щоби люди міркували взагалі, але щоби вони концентрували свої міркування на тій частині поля науки, яка в даний час потребує розробки.

Джеймс Клерк МАКСВЕЛЛ



Теорія за своїм призначенням повинна давати змогу науковцям прогнозувати нові явища та одержувати нові знання про оточуючий світ [4]. Розвиток теорії може відбуватись при необхідності пояснити нові, раніше незрозумілі факти з оточуючого світу. Іноді поштовхом до розвитку теорії стає випадковість – несподівано в ході досліджень виявляються якісь нові ефекти, що докорінно змінюють теорію. Також розвиток теорії може провокуватись необхідністю досліджень на стику різних наукових знань, розв'язанні міжгалузевих задач. Наприклад, при роботі над створенням штучного інтелекту необхідно оперувати поняттями і законами як людської психології, так і математичної логіки, що спонукає до розширення понять і законів існуючих теорій, створення узагальнень та розповсюджень для нових умов.

Приклад. Становлення теорії відносності. Теорія відносності застосовується у фізиці та астрономії починаючи з 20 ст. Їй передувала 200-річна Ньютонівська механіка, яка вважається класичною. Вона є вірною лише у «повсякденних» умовах, які ми спостерігаємо поруч із собою: швидкості, набагато менші за швидкість світла, розміри, що набагато більші за розміри атомів і таке інше. Принцип відносності руху кардинально скоригував ньютонівські поняття про рух, оскільки час уже не вважався абсолютним, і навіть рівномірним. Змінились фундаментальні погляди на час та простір, які розширили поняття фізики у цілому,

і, зокрема, сприяли розвитку знань в області фізики елементарних частинок. Завдяки теорії відносності космологія та астрофізика передбачили нейтронні зорі, чорні діри та гравітаційні хвилі. Таким чином, можна сказати, що розвиток однієї теорії сприяв поштовху і розвитку у багатьох інших напрямках науки.

Приклад. Поява фрактальної геометрії. Велика кількість математичних ідей стосовно фракталів була висунута в працях Кантора, Вейерштрасса, Пеано. Поняття дробової розмірності було введено у роботах Хаусдорфа. Однак, термін «фрактал» був уперше введений лише в 1975 р. Бенуа Мандельбротом, який поєднав ці ідеї, і систематизував їх під егідою фрактальної геометрії. Це приклад створення нової теорії на основі узагальнення, систематизації та розвитку вже існуючих ідей та теорій.

Приклад. Розвиток теорії хаосу. Першим дослідником хаосу вважається Анрі Пуанкаре, який помітив неперіодичні орбіти у системі трьох тіл, які взаємодіють гравітаційно. Далі Жак Адамар дослідив хаотичну поведінку часток в так званому «більярді Адамара». До того ж, дослідники зіштовхнулись із турбулентністю в рідинах, неперіодичними коливаннями в радіосхемах, що стимулювало розвиток теорії, яка могла пояснити ці явища. Незважаючи на спроби зрозуміти сутність хаосу в першій половині 20 сторіччя, теорія хаосу почала формуватись лише із середини XX сторіччя, і значним поштовхом у цьому напрямку стала поява ЕОМ (електронних обчислювальних машин). Це пов'язано із тим, що велика кількість обчислювальних експериментів з хаотичними відображеннями пов'язана із ітеративними обчисленнями, які вручну виконувати дуже трудомістко. В свою чергу, ЕОМ зробила можливою автоматизацію візуалізації таких обчислень, що полегшило дослідникам розуміння значень одержаних результатів.

Одним із перших дослідників теорії хаосу був Едвард Лоренц. Його цікавість визвала «випадковість»: коли він працював над передбаченнями погоди, і виконував моделювання на цифровому комп'ютері McBee LGP-30, він побачив, що результати дуже сильно відрізняються в залежності від початкових даних. Навіть незначні зміни у вхідних даних викликали значущі зміни в результатах. Лоренц був дуже здивований, адже комп'ютер працював із точністю до 6 цифр. Це спонукало Лоренца більш детально дослідити моделі передбачення погодних явищ, і одержати нову систему в безрозмірних змінних [15]:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x); \\ \frac{dy}{dt} &= -y + x(r - z); \\ \frac{dz}{dt} &= -bz + xy.\end{aligned}$$

При $r < 1$ в системі існує стійка точка $x = y = z = 0$. Стационарна конвекція Релея-Бенара розвивається при $r > 1$ і в системі утворюються два атрактори (притягувальні множини) з координатами:

$$x_{1,2} = y_{1,2} = \pm \sqrt{b(r-1)}, \quad z_{1,2} = r - 1$$

При збільшенні r вони стають нестійкими, у системі відбувається послідовність біфуркацій і при $r > 24,74$ система починає хаотично рухатися у фазовому просторі. При цьому область фазового простору, яку окреслює система при своєму русі, стискається до малих розмірів і охоплює нестійкі атрактори. Таким чином утворюється атрактор Лоренца. Досліджуючи цю систему, можна встановити, що звичайна динамічна система може породжувати хаотичний рух. Ці системи є дуже чутливими до початкових умов – навіть якщо початкові дані будуть відрізнятися лише у 10 позиції після коми, все одне результати моделювання після певного проміжку співпадаючих даних почнуть суттєво відрізнятися, і, нарешті, почнуть експоненційно розбігатися. Математичні системи, що моделюють погоду, є саме такими, отже, вислів Лоренца про те, що «змах крилець метелика в Айові спричиняє лавину ефектів, які можуть досягти найвищої точки в сезон дощів в Індонезії», є цілком виправданим.

Надалі з'явилися нові дослідження сценаріїв переходу до хаосу в детермінованих системах (тобто в таких, де відсутні стохастичні впливи у параметрах) – сценарій Фейгенбаума, Ландау-Хопфа, Рюеля-Такенса, Помо-Манневілья, названі на честь дослідників. Зараз теорія хаосу є достатньо розвинутою та популярною теорією, за допомогою якої можна пояснити багато складних явищ, які раніше були не поясненими, або взагалі не поміченими. До таких явищ слід віднести самоорганізацію в складних нерівноважних системах, механізми запам'ятовування людським мозком, динаміку популяцій тощо. Це дало неабиякі перспективи у конструюванні обчислювальних пристроїв, проектуванні нейронних мереж та інших областях.

Отже, ми бачимо, що теорія може розвиватись під впливом ряду факторів:

- Поява нових фактів, які спонукають науковців до їхнього пояснення;
- Накопичення цікавого матеріалу, який не вкладається в рамки існуючих теорій та потребує нової систематизації;
- Випадковість, яка виявляє нові закономірності існування навколишнього світу;
- Планомірна розробка теорії, яка призводить до цікавих висновків, що надалі формують базис нової теорії;
- Нагальна необхідність, яка підштовхує розробки в тій чи іншій області досліджень та вимагає розширення потужностей формального апарату;
- Цікавість та припущення дослідників по поясненню картини Всесвіту.

3. Застосування наукового метода при побудові моделі та перевірці адекватності

3.1. Загальні підходи

Найкращою матеріальною моделлю кішки є інша, а бажано, та ж сама кішка.

Норберт ВІНЕР



Вивчення певного явища часто відбувається при певних обмеженнях: дослідник не завжди може мати доступ до об'єкта досліджень, або він не має необхідних засобів досліджень, або явище має якісь приховані боки, які не можна дослідити лише емпірично.

Зазвичай ці проблеми можна вирішити, побудувавши модель досліджуваного процесу. Тут ми приходимо до проблеми абстрагування, адже математична модель завжди є якимось компромісним образом реального явища і не відображає його в усій повноті. Але для розв'язання задачі, що поставлена дослідником, такого неповного представлення явища, яке забезпечує модель, може бути цілком достатньо.

Модель може бути фізична, а може бути математична. В точних науках при проведенні практичних експериментів інколи вдаються до фізичних моделей.

В широкому сенсі можна сказати, що будь-який фізичний експеримент – це моделювання, оскільки в експерименті спостерігається конкретний випадок явища у часткових умовах, а слід одержати загальні закономірності для всього класу подібних явищ в широкому діапазоні умов. Складність такого моделювання полягає в тому, що необхідно досягти фізичної подоби між явищем, що спостерігається в лабораторних умовах, та усім класом реальних явищ.

Приклад. Петро Миколайович Лебедев вдався до експерименту, побудувавши складний прилад для встановлення тиску світла. У 1899 р. П. М. Лебедев проводив дослід в вакуумованому посуді, де на тонкій срібній нитці були підвішені крутильні ваги. До їхніх «коромисел» були підвішені тонкі диски зі слюди та різних металів. Головна складність експерименту полягала в тому, що слід було виділити світловий тиск на фоні радіометричних та конвективних сил, що обумовлювались різницею температури оточуючого газу з освітленого та неосвітленого боку, адже ефективних вакуумних насосів в той час ще не існувало. Шляхом опромінення різних боків «крилець» Лебедев нівелював радіометричні сили та одержав задовільне співпадіння з теорією Максвелла.

Особливістю досліджень цього видатного вченого були побудови складних фізичних моделей, що породжувало в науковому середовищі звинувачення у тому, що Лебедев «зводить науку до рівня техніки».

Приклад. Прикладом фізичної моделі земної кулі може бути шкільний глобус, або звичайний м'яч. Вся суть полягає в тому, які задачі ми ставимо перед собою при побудові моделі.

Математичні моделі забезпечують більш широкі можливості по дослідженню прихованих боків об'єкта, який вони моделюють. Однак, вони є більш відірваними від оточуючого світу, і потребують перевірки на адекватність об'єкту, який вони представляють. До того ж, для ряду явищ складно навести вичерпні математичні моделі, або складно задати вихідні параметри для них. Наприклад, це землетруси або цунамі, виверження вулканів та інші стихійні явища. Однак, якщо в деякій задачі не вимагається одержати всебічні результати, а дослідження обмежується якимись частковими цілями, то цілком можливо одержати математичну модель навіть достатньо складного фізичного явища, яка буде вирішувати поставлені перед дослідником задачі.

Приклад. Математичною моделлю багатьох фізичних процесів є диференціальне рівняння в часткових похідних. Наведемо його вигляд:

$$\frac{\partial x(t, z)}{\partial t} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial z_i} \left(k(z) \frac{\partial x(t, z)}{\partial z_i} \right) - \sum_{i=1}^n c_i(z) \frac{\partial x(t, z)}{\partial z_i} - d(z)x(t, z) + u(t, z), \quad (3.1)$$

з початковими умовами

$$x(0, z) = x_0(z) \quad (3.2)$$

та граничними умовами, що можуть бути трьох типів:

1) Фон-Неймана

$$\frac{\partial x(t, z)}{\partial n} \Big|_{\partial \Omega} = f(x(t, z), p(t, z)) \quad (3.3)$$

2) Діріхле

$$x(t, z) \Big|_{\partial \Omega} = f(p(t, z)) \quad (3.4)$$

3) змішані.

У співвідношеннях (3.1)-(3.4): $x(t, z)$ – неперервна функція стану, що залежить від часу $t \in (0, t_K)$ та просторових координат $z = (z_1, z_2, z_3) \in R^3$, де R^3 – евклідовий простір дійсних чисел розмірністю $n=3$, у загальному випадку $z = (z_1, z_2, \dots, z_n) \in R^n$. Функція стану $x(t, z)$ визначається розв’язком системи (3.1)-(3.4), який за припущенням існує та є єдиним; функція $u(t, z)$ описує розподілене керування; $u(t, z)$ може бути заданою так: $\sum_{i=1}^k u_j(t) \sigma(z - z_j)$, f – неперервні функції, що діють на границі $\partial \Omega$ просторової області Ω ; $p(t, z)$ – задані функції на границі $\partial \Omega$, що можуть виступати у якості граничних керуючих впливів.

Змінні стану та керування можуть означати різні фізичні величини, наприклад, концентрація хімічної компоненти, температура, тиск, витрата речовини та інше, або відхилення цих величин від відповідних стаціонарних значень. При цьому коефіцієнтам k, c, d необхідно надати відповідний зміст.

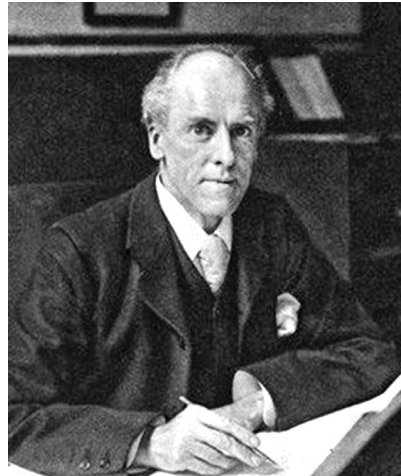
Приклад. Математичною моделлю процесу руху в’язкої рідини може бути система диференціальних рівнянь в часткових похідних. Ця система вже широко відома в світі науковців – це рівняння Нав’є-Стокса, названі на честь французького фізика та британського математика.

З наведених прикладів видно, що для того, щоби за допомогою певної теорії була змога одержувати теоретичні моделі, теорія потребує наявності певного формального апарату. Отже, перед тим, як будувати теоретичну модель об’єкта, слід формалізувати в тому чи іншому ступені знання про цей об’єкт.

3.2. Формалізація

Математик, оперуючи множиною символів, явно маючи справу із чисто формальними істинами, тим не менш може досягнути нескінченно важливих результатів для опису фізичного світу.

Карл ПІРСОН



Сама по собі теорія та її складові у вигляді тверджень, припущень, законів та інших елементів можуть бути предметом дослідження. І для того, щоби встановити між ними зв'язки, вивести наслідки, визначити систему правил, які діють при виводах тих чи інших положень, необхідно відволіктись від змістовного опису, і перейти до формалізованого опису теорії. Строгий логічний аналіз теорії вимагає формалізації.

Формалізація протікає в такі етапи:

- Спочатку встановлюються всі дедуктивні зв'язки між положеннями теорії. Зазвичай в теорії є якісь першопочаткові очевидні висловлювання, які складають аксіоматичну базу (аксіоми).
- Із них згідно встановленим правилам одержують вивід інших положень (теорем).
- Поряд із аксіоматизацією та встановленням логічних правил виводу поняття та вирази теорії можуть замінюватись символічними позначеннями, що перетворює теорію на так звану формальну систему. Отже, в цьому разі відмовляються від змістовного трактування понять та виразів. Інтуїтивно-логічні судження замінюються строгими правилами виводу.

В точних науках зазвичай використовуються такі типи теорій:

- Повністю формалізовані;
- Частково формалізовані.

Мета формалізації – відволіктись від змісту понять теорії, і зосередитись на її логічних особливостях. Окрім понять теорії бу-

ває необхідним формалізувати і сам процес міркувань, суджень. Важливим тут є те, що дедуктивні міркування можна описувати через їхню форму, відволікаючись від конкретного змісту понять, що входять у склад посилок та наслідків. Започаткував розвиток теорії формального виводу ще Аристотель. Він уперше ввів до логіки змінні замість конкретних термінів, і це дозволило відокремити логічні форми міркувань від їхнього конкретного змісту.

Формалізація використовується в науці на високому рівні її розвитку, коли вже накопичено велику кількість знань, результатів, і необхідно впорядкувати та систематизувати їх. Результатом застосування формалізації до деякої теорії стає формальна система. Розглянемо, що це таке.

Формальна система має:

- Алфавіт із вихідними символами системи, послідовності символів називаються виразами;
- Множину формул, що є підмножиною виразів;
- Аксиоми – підмножину формул;
- Правила виводу;
- Теореми – формули, для яких є доведення. Тобто встановлено їх виводимість з аксіом за допомогою правил виводу.

Нові висновки можна одержувати висновки за допомогою визначеної множини правил виводу.

Важливими властивостями формальних систем є їх повнота та несуперечність.

Несуперечність – властивість формальної системи, яка полягає в тому, що якщо у системі виводимо деяка формула A , то її заперечення $\neg A$ не має бути виводимою. Інакше, якщо в теорії існує A і $\neg A$, то значить, вона суперечлива.

Інша властивість – повнота, полягає в тому, що в даній теорії для будь-якої формули A має бути виводимо або A , або $\neg A$. Інакше теорія містить такі твердження, які не можна ані довести, ані спростувати, а значить, є неповною.

До цих властивостей слід додати розв'язність – властивість формальної системи, яка передбачає можливість встановити для будь-якої формули за скінчену кількість кроків, є вона теоремою чи ні.

Приклад. Цікавим висновком щодо властивостей формальних систем є теореми Геделя. Курт Гедель (Гьодель) показав,

що є цілий клас формальних теорій, які є неповними. Наслідком теореми Геделя про неповноту є те, що формула, яка стверджує несуперечність теорії, теж невиводима засобами самої теорії. До неповних теорій відноситься й формальна арифметика, на якій базується теорія дійсних чисел. А прикладом несуперечної та повної теорії є логіка висловлювань. Логіка висловлювань також має і властивість розв'язності.

Приклад. Інколи надмірна формалізація є невинуватою, і замість полегшення у дослідженні об'єкта утруднює його розуміння. У 1935 р. група французьких математиків поєдналась під псевдонімом Ніколя Бурбакі. Всі математичні теорії описуються в роботах Бурбакі на основі аксіоматичної теорії множин у надзвичайно абстрактному стилі, що заслужило критику за надмірну формалізацію та «винищення духу математики». Наприклад, визначення натурального числа 1 в одній з робіт Бурбакі давалось (у скороченому вигляді!) на 3-4 рядках. В.І. Арнольд, який різко критикував підходи Бурбакі, навів приклад негативних наслідків надмірного формалізму [16]: «Відомо, що французький міністр просвіти (геофізик), бажаючи зрозуміти, як вчать математиці дітей, спитав одного відмінника з молодших класів: «Скільки буде два плюс три?» Бурбакісти-вчителі не навчили хлопчика рахувати, і він не знав, що це буде 5, однак відповів так, як вони з нього вимагали в школі: «Це буде $3 + 2$, оскільки додавання комутативне». Однак, є і загальновикористовувані досягнення Н. Бурбакі: пригадаймо, наприклад, введення символу пустої множини \emptyset , а також позначень N , Z , Q , R , C для множин натуральних, цілих, раціональних, дійсних та комплексних чисел.

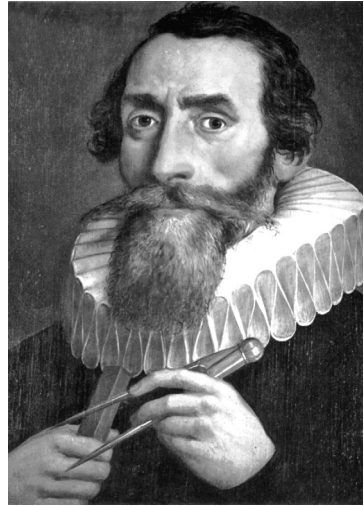
Важливим компонентом наукового знання є наявність в теорії свого апарату визначень та понять, кажучи іншими словами – наукової мови. Чому наявність наукової мови така важлива? Мова – це не просто засіб для передачі досвіду, а й засіб для формування наукових знань. Будь-яке висловлювання може бути сприйняте по-різному, і може бути спірним. Ми здатні зрозуміти ту чи іншу теорію лише тому, що поняття та мова цієї теорії вже нам знайомі. Але, якщо ми трактуємо іншим чином зміст цих понять, то можемо прийти до невірної тлумачення. Визначення наукою чіткої термінології – це перша ступінь до формалізації знань.

Приклад. Суперечка між Н. Бором та А. Ейнштейном щодо квантової теорії та природи квантових об'єктів частково могла бути спричинена тим, що квантова механіка інколи називає поняттям «стан» скоріше «наше спостереження стану», а класична фізика розуміє під станом об'єктивну реальність, яка не залежить від того, спостерігають її чи ні (детальніше про це див. у п.7.2).

В ідеалі обидві особи, та що говорить і та що слухає, безпосередньо повинні домовитись про ті явища об'єктивного світу, які маються на увазі під словами. Саме тому в науковій літературі завжди даються визначення, пояснення позначок та інші необхідні для правильного розуміння речі.

Наука має справу із явищами, які можуть бути недосяжними для спостереження за допомогою людських органів чуттів – частки, хвилі, поля та інші. Відповідно, немає змоги співставити відповідний термін із власним досвідом, але на цей випадок існують експерименти, які можуть розширити можливості людини по баченню навколишнього світу. Але наукова мова повинна відображати не лише чуттєво сприйнятні явища, чи явища, які можна непрямо побачити за допомогою експериментів, а й практично недосяжні сприйняттям теоретичні особливості. В цьому разі, при розповіді про суто абстрактні речі, наукова мова має бути особливо точною, і слід звертати увагу на термінологію та прийняті в науковій спільноті змістові значення. Ці вимоги висуваються при формалізації. Головна вимога до наукової мови – це об'єктивність і незалежність від особистого сприйняття дослідника. Об'єктивність мови – це запорука правильного розуміння вченими одне одного та запобігання штучним парадоксам та непорозумінням.

3.3. Математичне моделювання



Математика є прообраз краси світу.

Йоганн КЕПЛЕР

Математична модель у загальному випадку представляє собою абстрактну систему, яка зберігає значущі для дослідження властивості об'єкта досліджень, і сама може складатись із певної множини математичних об'єктів. У найпростішому випадку в якості моделі виступає математичний об'єкт, тобто формальна структура, за допомогою якої можна на основі одних емпіричних значень одних параметрів реального об'єкта одержувати інші значення без застосування експерименту.

Філософія науки виділяє два основні типи математичних моделей:

- описові моделі;
- роз'яснювальні моделі.

Моделі опису не дають ніяких змістовних роз'яснень про природу явища, яке моделюється. Відповідність між моделлю та реальним явищем не обумовлена закономірністю, а лише носить характер одиничного факту. Ті знання про реальне явище, які не можуть бути надані моделлю, поповнюються емпірично. Моделі опису можуть бути надто простими, тривіальними, або, навпаки, занадто складними, що утруднює роботу із ними. Необхідно знаходити «золоту середину» – такий вигляд моделі, який є достатньо простим, і в той же час ефективним щодо розв'язання поставленої задачі.

Приклад. Нехай є $N+1$ точок, які представляють собою позиції населених пунктів. Через населені пункти проходить шлях,

який можна інтерполювати за координатами точок поліномом Лагранжа ступеню N . Однак, при практичному розв'язанні задачі можуть зустрітися складнощі, які потребуватимуть застосування «довгої» машинної арифметики, оскільки знаменник та чисельник доданків у поліномі мають факторіальну структуру. Отже, при відсутності необхідності збереження надвисокої точності моделювання шляху, можна розв'язати задачу іншим шляхом, використовуючи кускову сплайн-інтерполяцію не високого порядку, наприклад, квадратичну. Для знаходження коефіцієнтів сплайнів в цьому разі необхідно розв'язати систему рівнянь, що може бути зручнішим для дослідника-програміста, ніж працювати із великими числами у попередньому варіанті. Однак, в обох випадках модель шляху тут представляє собою описову модель, яка копіює лише основні геометричні властивості даного шляху, а не відображає якісь більш глибокі закономірності.

Роз'яснювальні моделі мають глибший зв'язок із сутністю об'єкта, який вони описують, і спроможні надавати прогноз чи пояснення поведінки цього об'єкта у різних умовах, з них можна одержувати нові факти. Наприклад, з рівнянь Ньютона можна вивести закон збереження імпульсу, а з рівнянь Максвелла зробити висновки про спорідненість електромагнітних та оптичних явищ. Серед властивостей роз'яснювальних моделей є такі:

- Здатність до узагальнень. Такі моделі можуть бути розповсюджені на різні класи явищ.
- Здатність до передбачень. На відмінок від описових моделей, які здатні лише до кількісного передбачення, роз'яснювальні моделі можуть давати передбачення якісно нових ефектів.
- Здатність до адаптації. Мається на увазі, що форма моделі є гнучкою та адаптованою для різних випадків.
- Для поповнення фактів, яких не вистачає досліднику, не обов'язково вдаватись до емпіричних експериментів. Цей вид моделей забезпечує одержання нових фактів теоретичним шляхом.

Приклад. Маючи модель деякого процесу у вигляді диференціального рівняння, та задані початкові умови (наприклад, стан процесу у початковий момент часу t_0) ми можемо одержати значення стану процесу у будь-який наступний момент часу t_n без додаткових емпіричних експериментів,

які часто бувають дуже затратними економічно та трудовісткими.

Наведемо таку модель [17]. Наприклад, в нафтових родовищах в якості стану системи використовується тиск у нафтовому пласті. В якості керування використовується об'єм нафти, який відбирається з пласту. Зв'язок між станом x та керуванням визначається рівнянням дифузії:

$$\frac{\partial x(t, z)}{\partial t} = \sum_{i=1}^2 \frac{\partial}{\partial z_i} \left(k(z) \frac{\partial x(t, z)}{\partial z_i} \right) - \frac{1}{h} \sum_{i=1}^K q_i(t) \delta(z - z_j),$$

де $x(t, z)$ – тиск нафти у пласті (змінюється у часі та у просторі), $q(t)$ – об'єм нафти, що відбирається з пласту, $k(z)$ – проникність пористого середовища, z – поточне значення просторової координати, K – кількість свердловин, δ – дельта – функція, h – глибина залягання. Це приклад моделі з просторово-розподіленими параметрами.

4. Апробація адекватності

4.1. Загальні підходи

Згідно думки більшості науковців основним критерієм істинності теорії є її несуперечливість із практичними результатами. Це особливо стосується технічних наук, які тісно пов'язані із моделюванням реально існуючих процесів та явищ. У сучасності для числового розв'язання задач, чи для імітаційного моделювання поведінки досліджуваних явищ частіше за все використовуються програмні засоби. Математичні моделі перетворюються у програмні моделі, тобто для одержання розв'язків поставленої модельної задачі буде розроблено спеціальну програму. На вході цієї програми буде задано вихідні дані в заданому форматі, а на виході одержано інші дані, що є результатом дії програми. При перевірці адекватності такого моделювання слід враховувати ряд факторів.

Зокрема, оцінка адекватності моделі полягає у перевірці [18]:

- Повноти урахування основних факторів та обмежень, що впливають на роботу системи, чи протікання процесу;
- Відповідності вихідних даних моделі реальності;
- Наявності в моделі усіх даних, необхідних для одержання результату;
- Синтаксичної коректності програми, що моделює процес, чи систему;
- Правильності перетворень вихідних даних у результати (наприклад, правильність аналітичних виводів, покладених в основу моделі);
- Відповідності модельних результатів реальним даним при нормальних умовах, та у граничних випадках (у заданих тестових прикладах);
- Осмисленості модельних результатів і їх узгодженості із вже перевіреними теоретичними міркуваннями про поведінку процесу чи явища.

Щодо суто теоретичних наук такий зв'язок із практикою не настільки очевидний. Однак, рано чи пізно, теоретичні результати можуть знайти своє призначення при розв'язанні практичних задач, і тоді істинність теорії пройде випробування практикою.

Торкнемось також питань апробації конкретних, часткових наукових результатів. Тут мається на увазі, яким чином перевіряються правильність запропонованого дослідником методу, алгоритму, доведення теореми, леми або інших результатів. По-перше, слід наголосити на виключній важливості наукового середовища, в якому дослідник виконує свою роботу. Звичайно, трапляються випадки, коли науковий результат одержується людиною, яка не спілкується із науковцями, не має керівника, який би спрямовував її дослідження. Тоді питання перевірки, апробації результатів все одне приведе такого дослідника в коло науковців, які займалися цими проблемами та знаються на певній галузі досліджень. Але в більшості випадків нові результати ґрунтуються на результатах попередників. Навіть Ісаак Ньютон наголосив на тому, що одержані ним результати – плід того, що він «стояв на плечах гігантів»; тобто, вплив певної наукової школи спостерігається і в роботах геніальних вчених. І якщо дослідник має досвідченого наукового керівника, який допомагає, спрямовує його зусилля, знає досягнення наукової школи в своїй галузі досліджень, ймовірність того, що його результати пройдуть випробування на правильність, є більш високою порівняно із результатами дослідника-одинака. Перевірка результатів здійснюється таким чином:

- перевірка результатів науковим керівником (з урахуванням практичної апробації – тобто результатів співставлення того, що було запропоновано теоретично, із тим, що запропоновано практично);

- апробація результатів на науково-практичних конференціях, семінарах чи інших наукових зібраннях (у цьому разі результати роботи заслуховуються вченими, які проводили дослідження в певній галузі та мають великий науковий досвід, який дозволяє швидко виявити помилки та неузгодженості);

- публікація результатів у фахових журналів (у цьому разі результати перевіряються рецензентами – спеціалістами в цій галузі, а потім й читачами – фахівцями з проблематики певного журналу).

4.2. Фальсифікація (теорії)

Існують вчені – садисти, які охочіше вишукують помилки, ніж встановлюють істину.

Марія КЮРІ-СКЛОДОВСЬКА



Під фальсифікацією будемо розуміти спробу спростувати якісь твердження науковими методами. Фальсифікованість (спростовність) – це критерій, запропонований британським філософом австрійського походження Карлом Поппером [14], згідно якого можна вирішити проблему демаркації, тобто відділення наукового знання від ненаукового. Згідно із критерієм Поппера, науковою теорією не може вважатись така, щодо якої принципово неможлива її фальсифікація. Тобто, така теорія, яка не дає навіть гіпотетичної змоги спростувати свої положення.

Приклад. Загальна теорія відносності припускає можливість перевірки. Так, відповідно цій теорії, масивні тіла (наприклад, зірки) викривляють хід світлових променів. В результаті світло далекої зірки, що спостерігається біля Сонця, змінює свій напрям, і зірка здається зміщеною з того місця, на якому вона знаходиться, коли спостерігається вдалині від сонячного диску. Цей ефект можна спостерігати під час повного сонячного затемнення, коли світло від Сонця не заважає бачити зорі поблизу нього. Якби в результаті перевірки виявилось, що такий ефект не спостерігається, то його відсутність могла би фальсифікувати теорію відносності. Перевірку такого ефекту провів британський фізик і астроном Артур Стенлі Еддінгтон під час затемнення 29 травня 1919.

Чи завжди фальсифікована теорія перестає використовуватись? Критерій фальсифікації теорій в реальності застосовується

ся науковою спільнотою не строго. Деякі формально фальсифіковані теорії можуть використовуватись, якщо більшість фактів їх підтверджують, і немає більш досконалих теорій, або ці теорії незручні у використанні.

Це відбувається внаслідок низки причин:

– Часто буває так, що окремі експерименти, що суперечать теорії, можуть бути не свідченнями її хибності, а просто такими, що виходять за межі застосовності теорії.

Приклад. Здається, що експерименти із фізичними тілами, які рухаються на релятивістських швидкостях, фальсифікують положення класичної механіки; однак вони просто виходять за межі застосовності цієї теорії.

Приклад. Факти самоорганізації матерії, які вивчаються термодинамікою нерівноважних процесів, не фальсифікують загальну термодинаміку, оскільки умови цієї теорії сформульовані для інших умов.

– Наукове пізнання не вільне від хибних міркувань та помилок, а навіть і навмисних фальсифікацій. Тому оцінка нових фактів завжди проводиться з урахуванням раніше накопиченого матеріалу, ступеня достовірності джерела, та імовірності хибного тлумачення результатів. Лише при накопиченні великої кількості фактів, що фальсифікують певну теорію, можна говорити про відмову від теорії чи її кардинальний перегляд.

Приклад. Дуже часто в різноманітних популярних виданнях демонструють винаходи, що нібито забезпечують коефіцієнт корисної дії (ККД), рівний 100%, або навіть більше 100%. Однак у всіх цих випадках винахідники або помилково трактують зміст ККД, або мають справу із відкритою системою. Це не відміняє закону збереження енергії, відповідно до якого, в замкненій системі повна енергія не змінюється, а значить, «нізвідки» її взяти неможливо. Або винахідники розглядають деякий ідеальний варіант, без наявності тертя та інших факторів. Отже, винахід «вічного двигуна», який реально працює, залишається містифікацією, а факти, що свідчать про «фальсифікацію» закону збереження енергії, є помилковими.

Однак, положення критерію фальсифікованості, який каже, що принципово неспростовна теорія не може вважатись науковою, завжди використовується строго в науковій спільноті. Теорія повинна давати (хоча б гіпотетичну) можливість перевірити свої положення.

Приклад. Запропонуємо «теорію», яку фальсифікувати неможливо. Нехай вона полягає в такому припущенні: «десь у Всесвіті існує зелена діра, яка, на відміну від чорної, то притягує речовину, то викидає її назовні». До того ж, додамо, що виявити місцезнаходження зелених дір ніякими формальними математичними дослідженнями неможливо. Експерименти, в свою чергу, завжди обмежені і в просторі, і в часі. І якщо на даний момент наші спостереження нічого не кажуть про наявність зелених дір, то це не може свідчити про те, що їх не існує десь у глибинах нескінченного Всесвіту. Тобто, теорія про існування зелених дір не може бути ніколи спростованою, а значить, і не може вважатись науковою.

Примітка: насправді наша теорія про зелені діри на така вже й нісенітниця. Наприклад, ще у 1970-х роках Стівен Хокінг припустив, що чорні діри здатні не лише вбирати речовину, але й «випромінювати» частинки, і в результаті цього процесу скорочуватись та зникати.

Можна сформулювати іншу теорію, яку фальсифікувати дуже легко. Теорія: «ніде у Всесвіті не існує зелених дір». Для фальсифікації такої теорії достатньо вказати хоча б одну зелену діру, і теорію буде спростовано. Тобто, гіпотетична можливість фальсифікації цієї теорії в будь-якому разі зберігається, і теорію можна вважати науковою.

З цього прикладу можна зробити висновок: теорія про неіснування чогось природним чином може бути фальсифікована: для її спростування достатньо пред'явити те, існування чого заперечується.

Теорію про існування чогось в оточуючому світі без будь-яких обмежень спростувати за допомогою експерименту неможливо. Це пов'язано із обмеженістю самих експериментів. Тому, щоб зробити таку теорію науковою, слід задати просторові та часові рамки дії, існування об'єкту.

5. Аналіз поведінки об'єкта

5.1. Загальні підходи

Маючи модель деякого об'єкта, ми можемо досліджувати властивості цього об'єкта в зручному режимі, і задавати такі умови, які потрібно досліднику, а не які диктуються обмеженнями часу, простору чи фізичних характеристик. Математична модель надає можливість легко дослідити функціонування об'єкта в граничних, складних режимах, при значеннях параметрів, які на практиці досягти виявляється надто складно чи неможливо. Результати, одержані в таких умовах, можуть виявитись відірваними від реального випадку, однак, вони можуть наштовхнути дослідника на глибше розуміння природи об'єкта, який вивчається. До того ж, математичний опис може бути співставлений із іншими математичними моделями, і явища, які на перший погляд були неспівставлюваними, виявляються близькими за своєю внутрішньою організацією.

Однак, не слід нехтувати і фізичними моделями, які широко застосовуються в науці та техніці.

Приклад. Наведемо приклади застосування методу фізичного моделювання.

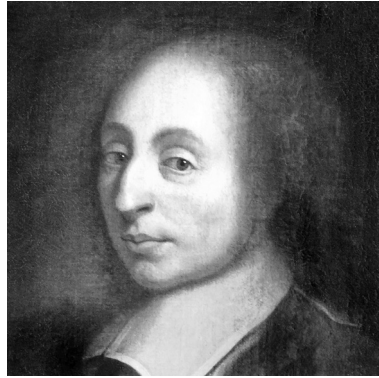
- Дослідження течій газів та обтікання літальних апаратів, автомобілів та інших аеродинамічних трубах;
- Гідродинамічні дослідження на зменшених моделях кораблів, гідротехнічних споруд;
- Дослідження сейсмостійкості будівель на макетах;
- Вивчення стихійних лих та їх наслідків;
- Вимірювання теплових потоків та розсіювання тепла в пристроях та системах, що працюють в умовах великих теплових навантажень.

Отже, при аналізі об'єкта слід визначити, чи проводити експеримент стосовно самого об'єкта, або використовувати модель об'єкта (яку саме, фізичну, математичну). Потім слід поставити експеримент і одержати результати, які можуть бути в залежності від форми експерименту представлені у виді натурних вимірювань або модельних вимірювань, або ж, у випадку, обчислювально-математичного експерименту, у виді обчислень. Далі результати можуть інтерпретуватись та розповсюджуватись на реальне явище, що вивчалось, з урахуванням особливостей та обмежень використаної моделі, та особливостей експерименту.

5.2. Прогноз та екстраполяція

Передбачати – значить керувати.

Блез ПАСКАЛЬ



В разі одержання результатів по вивченню функціонування об'єкту можна розповсюдити дані не лише на цей момент часу та цю просторову область, у якій вони були отримані. Із деякою точністю можна передбачувати поведінку об'єкту в майбутньому, або ж, якщо вивчалось якесь просторово розподілене явище, екстраполювати дані за межі досліджуваної області. Ці прийоми дозволяють розширити межі наукового горизонту, особливо тоді, коли дослідник не має змоги зазірнути за межі визначених просторово-часових границь.

Звичайно, основною характеристикою кожного прогнозу є його точність. Вона визначається рядом факторів:

- Обсягом істинних вихідних даних та періодом їх одержання;
- Обсягом неперевірених вихідних даних та періодом їх одержання (якщо такі використовувались);
- Властивостями та параметрами об'єкта, що прогнозується;
- Методом прогнозування;

Прогноз може бути: короткостроковим, середньостроковим, довгостроковим (за часом). В точних науках використовуються такі методи прогнозування:

- Статистичні методи;
- Методи моделювання;
- Методи експертного оцінювання (використовуються рідше, коли дані є нечіткими і потребують додаткового експертного оцінювання).

Примітка. В сучасності методи прогнозу набули настільки широкого використання, що розроблено численні програмні продукти, за допомогою яких можна здійснювати прогноз різ-

номанітних процесів. Наприклад, для прогнозу за часовим рядом використовують програмне забезпечення R, SPSS, Statistica, Forecast Pro, Forecast Expert та інші.

Екстраполяція є одним із способів апроксимації, коли за значеннями певної функції всередині інтервалу ми визначаємо, якими можуть бути її значення поза межами цього інтервалу. Тут широко використовуються різноманітні інтерполяційні формули – Лагранжа, Бесселя, Стірлінга, Ньютона. Фактично, екстраполяція може виступати одним із методів прогнозу. Математичні методи екстраполювання зводяться до визначення того, які значення буде приймати та чи інша змінна величина $X=x(t)$, якщо відомий ряд її значень в минулі моменти часу. У вузькому змісті слова екстраполяція – це знаходження за рядом даних функції інших її значень, що знаходяться поза рядом. Екстраполяція може бути формальною та прогнозною. Формальна екстраполяція базується на припущеннях про збереження в майбутньому попередніх та минулих тенденцій розвитку об'єкта. На відміну від формальної екстраполяції прогноз має приймати до уваги динаміку розвитку об'єкта та враховувати можливість змін самого об'єкта у майбутньому.

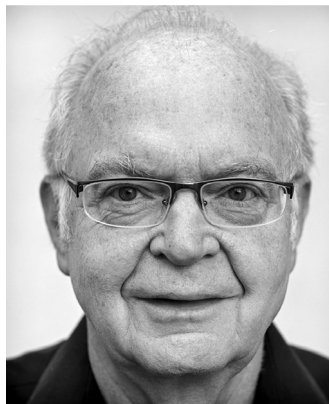
У широкому сенсі поняття науковий прогноз та екстраполяція можуть стосуватись розповсюдження наукових знань на інші області дослідження, передбачення нових, раніше не досліджених явищ тощо, як було розглянуто в п.3.1.

6. Методи, що використовуються при емпіричному та теоретичному дослідженні на будь-яких етапах

6.1. Аналіз

Найкращий спосіб в чомусь розібратись до кінця – це спробувати навчити цього комп'ютер.

Дональд Ервін КНУТ



Аналіз – це логічний прийом, або метод дослідження, який полягає в тому, що досліджуваний об'єкт подумки або на практиці розділяється на складові елементи (признаки, властивості, відношення), кожен із яких досліджується окремо як частина розділеного цілого.

Метою аналізу деякої складної задачі є розбиття її на більш прості підзадачі, потім кожен із цих підзадач знов розбивають, і так роблять далі, поки в результаті не виявиться, що вихідну задачу зведено до сукупності елементарних задач, які легко розв'язуються за один крок.

В математиці, наприклад, під аналізом розуміють шлях від невідомого до відомого, тобто до вихідних даних задачі; або від того, що необхідно довести, до того, що вже доведено або є аксіомою. Отже, аналіз це важливий засіб пошуку розв'язків різноманітних задач, а значить, також і засіб одержання нових знань.

При розв'язанні комплексних задач, які поєднують в собі складну практичну, обчислювальну та теоретичну компоненту, аналітичні прийоми виявляються особливо актуальними.

Найбільш яскраво прийоми аналізу застосовуються в розв'язанні задач за допомогою ЕОМ. Для того, щоб досягти результатів обчислень, слід розбити вихідну задачу на множину таких, із якими зможе впоратись комп'ютер. Тобто,

слід задати сукупність програмних процедур, які здійснюють розв'язання певних елементарних задач, до яких зводиться вихідна задача. Входом програмних процедур слугують відомі вихідні дані, а виходом – результати, поєднання яких і дає розв'язок основної задачі.

Розглянемо застосування аналізу на прикладі задач встановлення ступеня забрудненості повітряного середовища великого міста.

Приклад. Розглянемо процес розповсюдження шкідливих домішок в атмосфері при наявності лінійного ефекту самоочищення середовища. Кажучи іншими словами, нехай є якесь джерело забруднення, наприклад, деякий завод, який викидає у повітря шкідливі газоподібні домішки. Ці домішки розповсюджуються в повітрі під впливом факторів дифузії та переносу (наприклад, є вітер, що зносить шкідливу «хмару» від джерела забруднення) [19]. Фактор самоочищення середовища полягає в тому, що коли концентрація домішки досягає визначеного порогового значення, починається реакція випадіння в осад, і атмосфера очищується до певного рівня. Нехай нам необхідно встановити концентрацію домішки в заданій ділянці атмосфери при відомій позиції джерела забруднення, відомій початковій концентрації та параметрах турбулентної дифузії та переносу, та показника самоочищення. При розв'язанні цієї задачі слід врахувати практичний та теоретично-обчислювальний аспекти, адже об'єктом дослідження тут є реальний процес дифузії та тепломасообміну, а предметом дослідження тут фактично є алгоритми та методи аналізу подібних процесів. При аналізі поставленої задачі можна виділити такі підзадачі:

- Абстрагування від несуттєвих деталей, ідеалізація процесу;
- Побудова математичної моделі досліджуваного процесу розповсюдження шкідливої домішки;
- Вибір методів обчислювальної реалізації задачі;
- Вибір методів числового моделювання побудованої моделі;
- Обчислювальна реалізація з одержанням результатів числового моделювання (написання програми, яка буде розраховувати концентрацію домішки);
- Інтерпретація одержаних результатів.

При моделюванні, абстрагуючись від деяких подробиць, цілком можна використовувати апарат математичної фізики для

моделювання процесів дифузії та тепломасообміну. На цьому етапі слід задатись також вихідними даними задачі. Наприклад, див. Табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Приклад вихідних даних для моделювання процесу

Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	Значення
Вихідний стан	u_0	мкг/м ³	0
Максимальне значення стану	u_{\max}	мкг/м ³	1
Коефіцієнт дифузії	k	мкг/м ³	100
Просторовий крок	Δz	м	10
Крок за часом	Δt	хв..	6
Інтенсивність джерела	f	мкг/хв.	1,6 $\text{sign } f = 1$
Позиція джерела	-	(м, м, м)	(40,100,50)
Розміри області	-	м×м×м	200×200×200

Значить, переходячи до підзадачі задавання математичної моделі, ми вже знаємо, що слід використовувати диференціальне рівняння в часткових похідних, що описує дифузію та перенос у повітряному середовищі [20]. В нашому випадку f – функція, яка задає дію джерела забруднення (простіше кажучи, описує викиди заводу через «вихлопну» трубу); k – коефіцієнт дифузії у повітряному середовищі, який задається із спеціальних спостережень та вимірювань; c – коефіцієнт переносу (описує силу вітру); d – коефіцієнт поглинання (описує самоочищення середовища), а концентрація домішки u – знаходиться із диференціального рівняння в часткових похідних параболічного типу

$$\frac{\partial u}{\partial t} + Au + du = f \quad (6.1)$$

$$A = \sum_i \frac{\partial}{\partial x_i} k(x_i) \frac{\partial u}{\partial x_i} + c(x_i) \frac{\partial u}{\partial x_i},$$

$i=1..3$ (ми розглядаємо тривимірну картину), із початковою умовою $u(0)=u_0$ та граничною умовою $u|_{\Gamma} = 0$.

Значення концентрації u в нашому разі змінюється із часом та в просторі. Процес, який ми розглядаємо, є просторово розподіленим.

Щодо коефіцієнту самоочищення вважаємо, що d заданий масивом, елементи якого дорівнюють нулю в точках де концентрація не перевищує порогового рівня u_{\max} , і більші за нуль там, де концентрація домішки більша або дорівнює цьому значенню (для простоти припустимо, що в ході обчислень нам відомий цей масив, хоча в реальних випадках задача є значно складнішою).

Однак ще залишається питання про числову реалізацію. Які методи обрати для розв'язання диференціального рівняння вигляду (6.1)? Тут можна знов таки звернутись до відомих зразків із наукової літератури. Припустимо, ми обрали – за критеріями простоти та ефективності – метод скінчених різниць. Тепер ми повинні задати скінченорізницеву апроксимацію нашої задачі. І визначитись із параметрами усіляких програмних процедур, які забезпечать стійкість і збіжність обраних числових схем (зокрема, умовами Куранта на часовий та просторовий крок різницевої схеми). Це окремий важливий ряд підзадач, яким не можна нехтувати.

Зробивши це, можна переходити до наступного етапу – програмної реалізації.

При побудові програми слід врахувати, із якими числами ми будемо працювати, масиви даних якої величини ми будемо задавати. Якщо ми працюємо з тривимірною сіткою $100 \times 100 \times 100$, то ми одержимо масив із 1000000 комірок, що може визвати утруднення у деяких мовах програмування. Можливо, в цьому разі нам доведеться самотійно виділяти пам'ять та працювати із вказівниками (мова C). Якщо ми будемо працювати із великими числами, то слід подумати про мову, яка надає можливість безперешкодної реалізації довгої арифметики, наприклад, Python. Слід врахувати, що при роботі у складі якоїсь науково-дослідницької інформаційної системи дана програма має бути сумісною із наявними засобами, достатньо швидкодіючою, особливо, якщо на основі її будуть прийматись рішення по оперативному реагуванню на забруднення середовища.

До того ж, заздалегідь слід подумати про візуалізацію результатів – дослідникам бажано мати доступ не лише до маси-

вів чисел, а й мати можливість проаналізувати якісь графіки, діаграми, щоби полегшити наступний етап – етап інтерпретації результатів. Отже, можливо, наша програма має бути реалізована у середовищі Matlab – тоді ми можемо бути впевнені, що ряд числових процедур (розв’язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, наприклад, деякі процедури знаходження мінімуму та максимуму) вже є у готовому вигляді, а також є в наявності потужний графічний арсенал. Вибір усіх вищенаведених подробиць теж покладено на дослідника.

В результаті розробки програми (із етапами тестування, усіляких перевірок і таке інше) нарешті дослідник може одержати числові результати і побудувати графіки (див. рис. 6.1). І тоді починається етап інтерпретації, і, можливо, додаткових перевірок адекватності одержаних результатів.

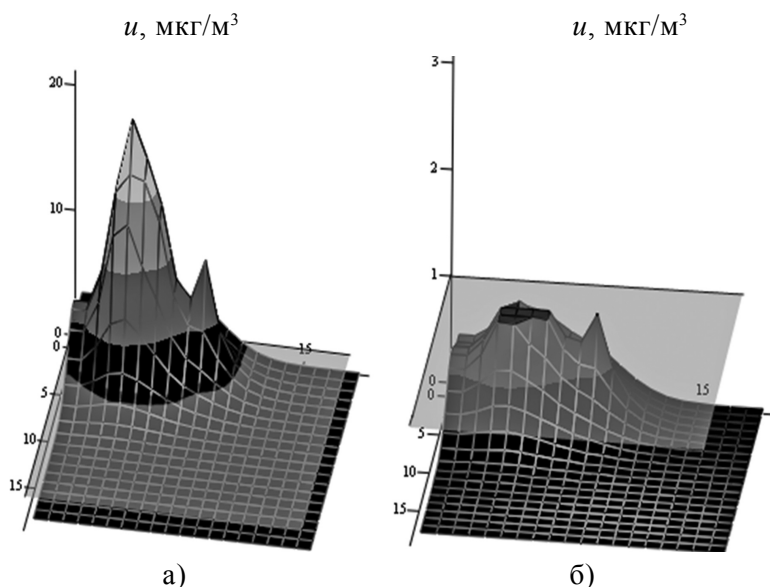


Рис. 6.1. Приклад візуалізації. Розподіл концентрації шкідливої домішки на просторовому двовимірному зрізі: а) без урахування наявності ефекту самоочищення; б) із ефектом самоочищення. Напівпрозорою площиною показано значення граничної концентрації, при перевищенні якої середовище самоочищується. Отже, вище за дане значення концентрація бути не може.

Аналізуючи графіки, ми можемо зробити певні висновки по поведінку процесу, перевірити одержані результати шляхом порівняння із реальними вимірюваннями. Піки концентрації на рис 6.1 а) відповідають тим просторовим ділянкам, де дія джерел забруднення є найбільш інтенсивною (в цих позиціях розташовані труби заводу, що викидають забруднення в повітря). Зазвичай результати представляються для деякого моменту часу, коли процес забруднення вже встиг розвинути до значущого рівня.

В результаті можна сказати, що замість однієї великої складної задачі ми одержали велику кількість простих задач, які, в свою чергу, поділяються на ще більш елементарні задачі до тих пір, доки ми не зможемо реалізувати кожен одержану елементарну задачу за один крок.

Приблизний перелік розв'язаних простих задач в цьому разі наступний:

- ідеалізація, абстрагування від несуттєвостей при розгляданні реального процесу;
- підбір відомих вихідних даних;
- побудова математичної моделі;
- виконання необхідних викладок для перетворень моделі для того, щоб мати можливість виконувати подальші розрахунки;
- підбір числових методів, які необхідні для розв'язання, задавання робочих параметрів числових процедур – різноманітних кроків (за часовою, просторовою координатою, кроків градієнтних процедур, початкових значень параметрів, що налаштовуються), точності. Між усіма цими параметрами має бути певний баланс, щоб всі процедури працювали правильно, і забезпечувалась збіжність ітераційних методів та необхідна точність прямих методів, що використовуються. Наприклад, відомо, що для правильної роботи скінченорізницевої схеми слід дотримуватись певних співвідношень між кроком за часом та кроком за координатами, які визначаються для кожної задачі окремо умовами стійкості обраної схеми.
- рішення питань програмної реалізації;
- програмування;
- одержання у прийнятному виді числових розв'язків та інтерпретація результатів.

Розглянемо, яким чином застосовується аналіз при вирішенні зовсім іншого класу задач, що стосуються безпеки комп'ютерних систем.

Приклад. Аналіз виконання вимог безпеки в автоматизованій інформаційній системі. Аналіз та синтез набувають широкого застосування при проектуванні різноманітних автоматизованих інформаційних систем. Розглянемо, які задачі аналізу можуть розв'язуватись в цій області.

Нехай у нас є деяка автоматизована інформаційна система, яка виконує задачі підприємства по обробці та накопиченню інформації. В складі цієї системи є такі складові елементи:

- Підсистема адміністрування інформаційної системи;
- Підсистема, що забезпечує зв'язок із мережею Інтернет;
- Підсистема накопичення та обробки даних;
- Підсистема розробки та тестування, в якій розробники впроваджують та тестують нові програмні продукти.

Нехай нам також відомо перелік програмних та технічних засобів, що використовуються в цій системі. На основі цих даних нам слід проаналізувати, чи виконуються в даній автоматизованій інформаційній системі основні вимоги по забезпеченню інформаційної безпеки щодо конфіденційності даних, збереження їх неушкодженості та доступності для працівників та всіх уповноважених осіб, а також щодо спостережуваності самої системи.

Для того, щоб виявити, чи в змозі система забезпечити всі ці вимоги, ми повинні вдатись до детального аналізу.

По-перше, ми дивимось, які програмні продукти використовуються в підсистемі адміністрування. Зазвичай адміністрування відбувається за допомогою штатних вбудованих засобів операційних систем, систем керування базами даних та серверних продуктів (поштовий сервер, веб-сервер тощо). Ми повинні розділити задачі адміністратора на такі, що забезпечують:

1. Конфіденційність інформації (чи встановлено всюди, де необхідно, паролі; чи захищаються дані від зовнішніх вторгнень з боку мережі за допомогою спеціалізованих програм – файрволів тощо – конфіденційність важлива не лише для підсистеми, що забезпечує вихід у Інтернет та одержання електронної пошти, а й і для інших, внутрішніх підсистем);

2. Цілісність (неушкодженість) інформації (чи є захист від навмисного чи ненавмисного руйнування даних, зокрема, чи робиться резервне копіювання, дублювання важливої інформації; чи вірно виконано розмежування доступу користувачів системи

до важливих даних, так щоби неповноважені (неавторизовані) особи не змогли видалити записи, файли; чи налагоджені і працюють антивірусні програми, які запобігають винищенню та псуванню інформації комп'ютерними вірусами – це особливо важливе для підсистем накопичення, обробки даних та підсистеми розробки та тестування);

3. Доступність інформації (чи не буває у системі таких ситуацій, що дії користувачів призводять до різкого уповільнення роботи мережі чи інших системних ресурсів; чи завжди інформація є доступною для тих користувачів, які із нею працюють – це особливо важливо виявити для підсистеми накопичення та обробки даних, в якій є розподілювані бази даних);

4. Спостережуваність системи (чи ведуться журнали реєстрації подій, та із якою періодичністю перевіряються дані із них адміністратором, чи сповіщає система адміністратора про можливі неполадки, тобто чи забезпечується можливість відслідковувати стан автоматизованої системи та процеси, що відбуваються всередині неї).

По-друге, ми повинні виявити, які засоби використовуються в системі. За допомогою певних засобів вирішуються виробничі задачі, а за допомогою інших – суто задачі адміністрування та захисту системи. Однак, більша частина засобів вирішують і ті, і інші задачі водночас. Ми повинні виділити засоби, що існують в системі окремо для захисту інформації, і ті, які вбудовані в існуючі програмні та технічні продукти загального призначення. Наприклад, у стандартній автоматизованій системі задачі забезпечення конфіденційності, цілісності, доступності та спостережуваності розв'язують вказані нижче засоби.

Програмні засоби:

- Операційна система;
- Поштовий сервер;
- Веб-сервер;
- Антивірусні програми;
- Міжмережні екрани (інколи вбудовані в склад іншого програмного забезпечення, а інколи самостійні);
- Система керування базами даних
- Інші програмні засоби.

Технічні засоби:

- Апаратні реалізації міжмережних екранів;
- Детектори вторгнень;

- Шифратори;
- Комутатори, маршрутизатори та інше активне мережне обладнання.

Фізичні засоби та організаційні заходи:

- Наявність фізичного захисту (замків, шаф) серверної частини обладнання;

- Наявність режиму доступу персоналу до комп'ютерів (так, щоби сторонні особи не могли доступитись до засобів системи) тощо.

Так, від розгляду системи в цілому ми перейшли до конкретних засобів. Наступний рівень аналізу полягає в тому, що для кожного засобу ми повинні проаналізувати налаштування, встановлені для нього, і визначити, чи виконуються вимоги по забезпеченню конфіденційності, цілісності, та доступності інформації, а також спостережності системи.

Отже, на цьому рівні ми працюємо з такими елементами програмних та технічних засобів системи, як різноманітні конфігураційні файли; налаштування керування обліковими записами користувачів; налаштування журналів реєстрації подій; та інші налаштування безпеки. Також ми можемо переглянути організаційні міри, прийняті в установі, де працює автоматизована система, які мають сприяти захисту інформації – наявність магнітних карток доступу, наявність перепусток тощо.

Переглянувши всі ці налаштування, ми можемо встановити, чи всі засоби виконують захист даних, які обробляються в автоматизованій системі.

Як бачимо, ми розв'язали цю задачу шляхом аналізу, переходячи від більш загальних рівнів до більш конкретних:

1 рівень: автоматизована інформаційна система в цілому, перелік підсистем;

2 рівень: апаратні, програмні та організаційні засоби захисту в складі підсистем автоматизованої системи;

3 рівень: конкретні налаштування безпеки інформації.

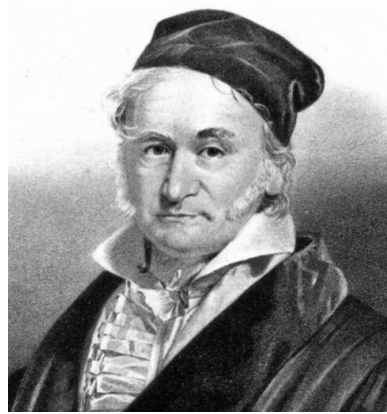
Додамо, що для великих систем вирішення такої задачі можна частково автоматизувати за допомогою використання апарату формальної логіки та теорії графів.

На наведених прикладах ми можемо побачити, що комплексні задачі слід вирішувати саме багаторазовим розчленуванням їх на більш прості блоки, застосовуючи аналітичний підхід.

6.2. Синтез

Мої результати мені давно відомі, я тільки не знаю, як я до них прийду.

Карл ГАУСС



Синтезом називається логічний прийом поєднання окремих елементів у єдине ціле. Синтез засновується на даних, одержаних в ході аналізу, і дає розв'язок задачі або доведення теореми.

Можна сказати, що синтез співіснує у тісному взаємозв'язку із аналізом, і, тому, можна сказати, що при розв'язанні складних задач у чистому виді аналіз чи у чистому вигляді синтез майже ніколи не застосовується. Зазвичай вони поєднуються.

Вміння синтезувати є ознакою здібності до творчості. Адже в синтезі немає жорстких схем, його можливо здійснювати різними шляхами, використовуючи різні методи. Для синтезування рішень слід вміти узагальнювати та абстрагувати, а також виконувати не лише доведення, а й просто формулювати правдоподібні судження. Як казав швейцарсько-американський математик угорського походження Дьордь Пойа, «ми закріплюємо свої математичні знання доведеннями, але підкріплюємо свої припущення правдоподібними судженнями». Вміння формулювати подібні судження слугує для творчого пошуку шляхів вирішення проблеми. Також для того, щоб синтезувати, наприклад, доведення, слід мати певну математичну інтуїцію, яка досягається шляхом досвіду роботи із подібними задачами. Отже, багата практика стимулює до творчості, і підвищує здібності до синтезу. Синтез є запорукою здійснення відкриттів на основі вже відомих розрізнених фактів.

Однак, синтез використовується не лише для теоретичних побудов. Проілюструвати на практиці, що собою являє синтез, ми можемо на прикладі побудови складних систем.

Спочатку засобами аналізу ми розв'язуємо окремі блоки задач, будуємо підсистеми, які реалізують ці блоки. Але для досягнення спільної мети ми маємо скоординувати ці підсистеми, забезпечити обмін даними між ними таким чином, щоб на виході загальної системи одержувати бажаний результат. І тут ми використовуємо саме синтез.

Особливо яскраво синтез проявляється при побудові систем прийняття рішень. Повертаючись до прикладу із попереднього розділу, розглянемо, яким чином би ми синтезували систему прийняття рішень по моніторингу оточуючого середовища.

Приклад. Синтез системи прийняття рішень. Розглянемо, які основні блоки задач має вирішувати система прийняття рішень по моніторингу оточуючого середовища.

Перший блок задач включає:

- задачі дослідження процесів забруднення оточуючого середовища (наприклад, розглянутого вище процесу розповсюдження шкідливих домішок);

- збір кількісної та якісної інформації про природу явища, поведінку процесів (в тому числі задавання вихідних даних)

Другий блок задач включає:

- Прийняття рішень на кількісному рівні (нечітке, логічне, якісно-фізичне моделювання, оцінювання та прийняття рішень та інші). На цьому рівні проектують розміщення джерел дії на фізичні процеси (в розглянутому прикладі – розміщення джерел забруднення атмосфери, якщо проектується завод); керують розміщенням вимірювальної апаратури для контролю забруднень; оцінюють параметри фізичних процесів; моделюють, оцінюють та прогнозують поведінку фізичних процесів.

- Прийняття рішень на якісному рівні. Розраховують впливи та обирають засоби керування процесом для досягнення певної мети (наприклад, зменшення концентрації забруднень у «спальних» районах міста, у заповідних зонах тощо).

Третій блок задач включає:

- Задачі інформаційного забезпечення прийняття рішень (супровід баз даних, експертних систем, робота з колективом експертів);

Четвертий блок задач включає:

- Прийняття рішень відповідальними особами на основі результатів та рекомендацій системи. На вході цього блоку – ін-

формація по результатам роботи експертної системи, груп експертів, даних моніторингу і таке інше.

– Оцінка правильності прийнятого рішення.

Кожен попередній блок задач постачає дані для наступного (перший для другого, другий для третього і так далі). Між блоками задач повинен бути можливий зворотній зв'язок для коригування прийнятих рішень. На основі прийнятих рішень відбувається вплив на керовані показники оточуючого середовища, коригування господарчої діяльності, яка забруднює оточуюче середовище. Реалізація правильної взаємодії між задачами та їх поєднання у єдину систему і є завданням синтезу в даному випадку.

На програмному рівні синтез буде полягати у конструюванні автоматизованої системи по підтримці рішень, із блоками спостереження, оцінювання, ідентифікації параметрів процесів забруднення навколишнього середовища, блоком експертної оцінки, та блоком керування процесом забруднення. На найвищому рівні дії системи має прийматись управлінське рішення по коригуванню дій щодо впливу на процес. Окрім цього, необхідно реалізувати взаємодію програмних модулів системи із технічним обладнанням, датчиками, які будуть надавати кількісну інформацію про стан оточуючого середовища.

У теорії автоматизованих систем слово «синтез» набуває більш вузького розуміння. Вирішується задача так званого структурного синтезу – визначення параметрів складових контуру керування об'єктом управління, в якому поєднані за допомогою зворотного зв'язку суб'єкт та об'єкт управління (тобто, того, хто керує і те, чим керують). В цьому разі задачею синтезу є розмістити регулятори, які слідкують за зміною параметрів об'єкту (безпосередньо, або за допомогою так званих спостерігачів) і налаштувати їхні властивості таким чином, щоб найоптимальнішим чином виконувалась мета керування об'єктом.

Синтез застосовується й при вирішенні багатьох щоденних науково-практичних задач.

Приклад. Збірка комп'ютера. Більшість науковців хоча б раз у своєму житті стикались із проблемою зборки комп'ютера. Звичайно, можна завжди придбати готовий варіант, однак при врахуванні персональних потреб користувача інколи більш доречно збирати комп'ютер із складових частин. Тут маються на

увазі укрупнені складові частини, які постачає промисловість. Подивимось, як у такій практичній інженерній задачі використовуються прийоми синтезу.

По-перше, слід встановити, які задачі має виконувати комп'ютер:

- обчислювальна станція для ресурсоємних наукових розрахунків;

- офісний комп'ютер;

- домашній комп'ютер;

- ігрова система чи система для комп'ютерного графічного моделювання (для цього виду характерне обладнання специфічними аксесуарами та підвищені вимоги до якості дисплею та відеокарт).

Далі слід визначити, які складові блоки має містити комп'ютер:

- материнська плата;

- оперативна пам'ять;

- процесор;

- жорсткий диск;

- аудіокарта;

- відеокарта;

- дисплей;

- корпус із блоком живлення;

- аксесуари: миша; клавіатура; різноманітні тачпади, колонки, навушники, дигітайзери тощо.

І далі, з урахуванням задач, які мають виконуватись, підбирати характеристики складових блоків, із яких буде складатись комп'ютер. Звичайно, слід враховувати й вартість, балансуючи між ціною та якістю. Синтез тут полягає в тому, що всі складові слід дібрати таким чином, щоби вони найкраще взаємодіяли між собою та розв'язували поставлені перед комп'ютером задачі.

Наприклад, корпус слід обирати із великою обачністю, якщо передбачається, що комп'ютер буде постійно виконувати машинно-складні задачі. Корпус має бути оснащений потужною системою кулерів, які будуть охолоджувати працюючі внутрішні елементи, і машина не буде спонтанно перезавантажуватись від перегріву. Слід врахувати баланс між витоком та притоком повітря до корпусу, оскільки при порушенні цього балансу всередині буде накопичуватись пил. Більшість сучасних відеокарт

та процесорних кулерів мають достатньо великі розміри, і слід упевнитись, що всі деталі можуть розміститись всередині корпусу, залишаючи достатньо місця для циркуляції повітря всередині.

Також дуже важливим кроком є вибір материнської плати – слід звернути увагу на типи слотів, та їхню кількість – для можливості подальшого апгрейду комп'ютера. Наприклад, з часом можливо знадобиться додати ще декілька блоків оперативної пам'яті.

Вибір процесора буде відбиватись на потужності комп'ютера. Основні характеристики, які слід врахувати – це частота, наявність вбудованого графічного ядра, кількість ядер (особливо важливо для ресурсоемних, розподілених наукових обчислень), обсяги кешу. І, звичайно, тип процесора має підходити до слоту на материнській платі.

При виборі жорсткого диску слід визначитись, чи будуть задіяні для зберігання інформації хмарні технології (наприклад, хмарні сервіси зберігання даних Google Drive, DropBox чи інші, що особливо характерно при розподілених розрахунках) – у такому разі розміри пам'яті можуть бути набагато меншими, ніж при звичайному, персональному способі зберігання інформації. Основні параметри, які також враховуються при виборі жорсткого диску – це швидкість обертання диску, інтерфейс підключення; об'єм буфера. Як альтернатива HDD можуть використовуватись накопичувачі SSD без рухомих частин, які використовуються при підвищених вимогах до швидкодії та надійності.

Інколи комп'ютеру відводиться роль бездискового клієнта, який взаємодітиме із іншими шляхом спеціальних протоколів, і звертатиметься по інформацію до спільного сховища даних. В цьому разі потреба у жорсткому диску відпадає.

Надалі слід поєднати всі частини у єдиний блок, і увімкнути новозібраний комп'ютер. Наступний етап – етап тестування, який покаже, чи була виконана задача синтезу нового комп'ютера вдало. Більшість основних тестів комп'ютер виконуватиме автоматично, оскільки вони зашиті виробником складових частин до постійної пам'яті. В разі включення комп'ютера до мережі розподілених розрахунків слід додатково протестувати його взаємодію із іншими машинами в цій мережі.

6.3. Аналогія

Тут порушене принципове питання, чому в матеріальному світі ми знову і знову зустрічаємо форми та якості, що повторюються.

Вернер ГЕЙЗЕНБЕРГ



Уважний спостерігач не може не відмітити, що в оточуючому світі дуже часто трапляються співпадіння. Інколи речі, які зовсім не схожі ззовні, мають подібні закони розвитку та функціонування, описуються тими й самими математичними співвідношеннями. Якщо такі збіги (співпадіння) не випадкові, а носять характер певної закономірності, то цими властивостями можна скористатись при розв'язку різноманітних задач. Зокрема, взаємозв'язок між різними об'єктами використовується методом аналогії. По дослідженнях одного об'єкта, який є схожим на інший (чи, кажучи більш точно – подібним до іншого), можна із деякою імовірністю припустити, що інший об'єкт має такі ж властивості як досліджуваний.

Послідовність умовиводів відповідно до методу аналогії може бути такою:

1. Нехай А та Б- об'єкти із властивостями $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}$ та x_1, x_2, \dots, x_n відповідно.
2. А та Б не мають ознак, що свідчать про докорінну несхожість об'єктів.
3. Властивості $x_1, x_2, \dots, x_n, x_{n+1}$ та x_1, x_2, \dots, x_n є значущими, суттєвими властивостями об'єктів А та Б відповідно.
4. Тоді, на основі п.1-3, імовірно, об'єкт Б має також і властивість x_{n+1} , по аналогії із об'єктом А.

Найелементарнішим застосуванням методу аналогії є вивчення класу об'єктів за типовими представниками цього класу. Між собою об'єкти-елементи класу є подібними (аналогічними у деякій мірі), отже, за поведінкою «зразка» можна зробити висновок про характеристики всіх інших. Такий підхід має місце, коли важко, або

неможливо дослідити усю множину представників деякого класу об'єктів. Буває і менш очевидне застосування методу аналогії, як проілюстровано у прикладах нижче.

Приклад. Було виявлено, що для моделювання розповсюдження комп'ютерних вірусів можна використовувати ті ж моделі, що й при епідеміях звичайних людських вірусів. На увазі маються моделі-співвідношення між кількістю можливо інфікованих (латентна фаза), інфікованих та вилікуваних пацієнтів (SIR-моделі) [21]. В даному випадку аналогія між тенденціями розповсюдження захворювань людини і «захворювань» комп'ютера виявляється вірною.

Аналогія знаходить відображення і в вивченні світу за допомогою моделей. Це найбільш яскраво ілюструється в побудові фізичних моделей, які в якійсь мірі є аналогією реальних фізичних явищ.

Приклад. Фізичне моделювання – це метод експериментального дослідження явищ, заснований на їх фізичній подібності (аналогічності). Під час такого моделювання об'єкти однієї фізичної природи вивчаються за допомогою об'єктів, що мають іншу фізичну природу, але однаковий із ними математичний опис.

Відомим прикладом такого підходу є застосування електролітичних ванн для моделювання поля потенціалів в транзисторній структурі [22].

Фізичне моделювання застосовується при таких умовах:

- не існує точного математичного опису явища на даному рівні розвитку науки, або цей опис надто громіздкий та обчислювально складний, або вимагає великого об'єму вихідних даних, одержання яких утруднене;

- відтворення досліджуваного явища в рамках експерименту неможливе в реальному обсязі. Або це відтворення небезпечне, чи дорого коштує. Наприклад, це може бути землетрус та його вплив на будівлю.

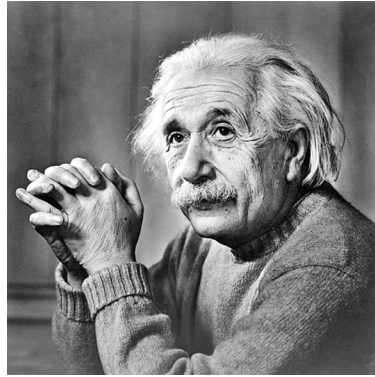
Метод фізичного моделювання полягає у відтворенні фізичної моделі явища в зменшених масштабах, та проведенні експериментів на цій моделі. Висновки, одержані в ході моделювання, розповсюджуються на реальний випадок. Відмітимо, що результати, одержані в ході такого експерименту, ми можемо вважати надійними лише в разі наявності аналогії між реальним явищем та моделлю. Подібність досягається за рахунок співпадіння для моделі та реального об'єкта так званих критеріїв подібності, які залежать від фізичних, геометричних та інших параметрів, що характеризують явище. Дані експерименту, одержані методом фізичного моделювання, розповсюджуються на реальне явище також із урахуванням критеріїв подібності.

7. Методи метатеоретичного пізнання

7.1. Необхідність метатеоретичного дослідження

Наука не є і ніколи не буде завершеною книгою. Кожен важливий успіх приносить нові запитання. Будь-який розвиток відкриває все нові і більш глибокі складнощі.

Альберт ЕЙНШТЕЙН



Коли наука виходить на якийсь достатньо високий рівень розвитку, починається етап осмислення накопичених знань та досвіду. В тому числі задаються не лише спеціальні питання, характерні для даної області знань, а й більш філософські питання: наприклад, яке місце одержаних знань в картині світу, чи істинні та корисні одержані даною наукою знання. Чому виникає питання про істинність, коли одержано стільки підтверджених результатів, апробованих фактів? Інколи кажуть, що розвиток науки схожий на будинок, в якому перші поверхи та фундамент не настільки міцні, як верхні. Будь-яка точна наука базується на ряді очевидних істин, які не потребують додаткового доведення. Такі істини носять назву аксіом. Із використанням аксіом доводяться більш складні і неочевидні положення – теореми. Однак, очевидне не завжди є вірним у будь-якому випадку. Найпростіший приклад – це постулат евклідової геометрії про те, що паралельні прямі ніколи не перетинаються. Однак, пізніше Микола Іванович Лобачевський та Бернхард Риман запропонують такі геометрії, в яких цей постулат не є істинним, і потребує корекції. Річ у тому, що Евклід вивчав ідеальний випадок для площини, а неевклідові геометрії мають справу із складними многовидами, наприклад, із наближеннями сфери.

Враховуючи такі випадки, часто виникає необхідність вивчати не явища оточуючого світу, а саме наукове знання. Це ніби «наука про науку», а називаються методи, які цим займаються, метатеоретичними. Особливо нагальними вони стають, коли в

теорії проявляються симптоми «неблагополуччя» - парадокси, протиріччя, які неможливо пояснити на даному етапі розвитку теорії. Такі методи виявляють неув'язки в старих знаннях і висувають нові ідеї щодо подальшого руху в пізнанні навколишнього світу.

Цікавими з точки зору пізнання науки є випадки, коли є якесь твердження, яке ніхто не може довести на протязі довгого періоду часу. Виникає запитання, чи це дійсно теорема, тобто твердження, для якого в рамках даної теорії існує доведення, чи таке доведення не існує.

Приклад. Велика теорема Ферма добре відома, і проста в формулюванні. Ось її формулювання. Для будь-якого натурального числа $n > 2$ рівняння

$$a^n + b^n = c^n,$$

не має розв'язків у цілих ненульових числах a, b, c . Теорема була не доведеною довгий період, оскільки виявилось, що дуже складно довести відсутність подібних чисел. Адже, можливо, такі числа є, тільки в сучасного комп'ютера не вистачає потужності їх знайти, оскільки вони дуже великі?

Наведемо скорочено історію цієї теореми. Теорема була сформульована П'єром Ферма в 1637 році на полях книги «Арифметика» Діофанта із припискою, що знайдене ним дотепне доведення надто довге, щоби його можливо було тут розташувати: «Навпаки, неможливо розкласти куб на два куба, біквадрат на два біквадрата і взагалі ніяку степінь, більше квадрата на дві степені з тим самим показником. Я знайшов цьому воістину чудове доведення, але поля цієї книги надто вузькі для цього». В 1770 р. Л. Ейлер довів теорему для $n = 3$, в 1825 р. Й.П.Г.Л. Дирихле та А.-М. Лежандр – для $n = 5$, Г. Ламе – для $n = 7$; Е.Е. Куммер показав, що теорема вірна для всіх простих $n < 100$. Однак, це були часткові результати, які не розповсюджувались на усі числа. Тих, хто робив спроби довести цю теорему було багато, і теорема Ферма займає перше місце по кількості невірних доведень. І, нарешті, лише в 1993 році Ендрю Уайлз, професор Принстонського університету, довів цю теорему і представив доведення науковій спільноті. Його доведення було уточнене і вдосконалене в 1995 році. Отже, на доведення теореми Ферма було витрачено людством 358 років, а особисто Уайлзом – майже 30 років, оскільки він розпочав працювати над нею практично з 10 років.

Приклад. Гіпотеза А. Пуанкаре, сформульована в 1904 р., була доведена Григорієм Перельманом лише в 2002 році. Зміст цієї гіпотези такий: «Будь-який однозв'язний компактний тривимірний многовид без границі гомеоморфний тривимірній сфері». Простіше кажучи, якщо тривимірна поверхня схожа на сферу, її можна розгорнути у сферу. Виявляється, що доведення цієї гіпотези (а тепер вже теореми) відіграє велику роль в пізнанні структури Всесвіту.

Філософський зміст цієї теореми може означати те, що істота, яка живе всередині якоїсь форми, яка постійно змінюється, не в змозі точно встановити, якою саме є ця форма, бо істота не споглядає ззовні за середовищем свого існування, а змінюється разом із ним. Однак, вона може встановити, чи подібна ця форма до сфери, або, навпаки, до тора, який, як відомо, не є однозв'язним. Це найочевидніший підтекст даної теореми, однак, є й більш глибокі, зв'язані із самою можливістю пізнання Всесвіту в цілому, а не частково.

Іноколи математика формує світогляд дослідника. Цікаво, що строгий математичний світ може здаватись науковцю зовсім іншим, ніж він бачиться невтаємниченим в особливості науки особам. І в деяких вчених є своє бачення об'єктивної реальності.

Приклад. Шарль Ерміт був переконаний, що числа та аналітичні функції не є довільним плодом людського розуму, а реально існують поза нашою уявою і незалежно від нас, подібно до предметів реального світу. Математики ж відкривають їх та досліджують так, як це роблять вчені інших областей науки, наприклад, фізики, хіміки або зоологи. Тому немає нічого дивного, що в одному із листів до свого друга, математика Т.Й. Стілтєса, Ерміт писав: «Я з огидою відкидаю це, достойне співчуття, болото неперервних функцій без похідних». Математик займався деякими функціями із неочікуваними і дивними (за тих часів) властивостями, і був противником їх дослідження, як таких, що не мають практичної користі. Однак, ці дослідження в майбутньому дали внесок у нову галузь математики – теорію функцій дійсних змінних.

Здається, у сучасній розвинутій науці мало запитань, які потребують осмислення на метатеоретичному рівні. Але саме зараз, нещодавно бурхливий розвиток обчислювальної техніки та високих технологій дав можливість дослідити експериментально такі властивості та явища оточуючого світу, які раніше мо-

гли вивчатись лише теоретично. До цих явищ, наприклад, належать квантовомеханічна заплутаність і парадокс Чеширського кота. Численні експерименти зможуть бути здійснені завдяки побудові колайдера, що дозволить підтвердити чи спростувати припущення про властивості часток. А отже, місце для суперечностей, парадоксальних запитань, які примушують переглянути картину світу, завжди залишається відкритим.

Примітка. Теоретична ідея про парадокс Чеширського кота є відносно новою і зводиться до того, що властивості мікроскопічних об'єктів можуть бути визначені там, де об'єктів нема. Як і посмішка Чеширського кота, що блукала окремо від свого хазяїна.

В класичній фізиці це неможливо внаслідок принципу локальності, відповідно до якого крім самого об'єкта його властивості можуть залежати лише від його найближчого оточення. У квантовій теорії існує таке поняття як квантова заплутаність, яка має на увазі, що квантові підсистеми однієї системи після їх рознесення у просторі навіть на великі відстані за межі відомих взаємодій все ж продовжують взаємодіяти.

7.2. Завдання метатеоретичного дослідження

Сучасний фізик є послідовником квантової теорії в понеділок, середу та п'ятницю. У вівторок, четвер та суботу – він займається гравітаційною теорією відносності. По неділях – ні тим, ні іншим, а просто молиться своєму Богу, щоби хтось, бажано він сам, зміг поєднати обидва підходи воедино.

Норберт ВІНЕР

Основними задачами метатеоретичного пізнання є реалізація цілісного розуміння конкретних наукових теорій шляхом оцінки виявлення, чи виконує наукова теорія свої функції [4]. Визначається, чи спроможна теорія:

- 1) пояснювати явища (де в практиці застосовна теорія?);
- 2) передбачувати факти (наскільки теорія ефективніше передбачує за інші подібні теорії, наскільки вірні ці передбачення?);
- 3) доводити твердження (чи логічно несуперечлива теорія?);
- 4) систематизувати знання (Чи повна теорія? Наскільки вона універсальна?)

5) грати світоглядну роль (який вклад робить дана теорія в наукову картину світу, теорію пізнання, методологію пізнання та множину загальноприйнятих аксіом?);

6) здійснювати загальнокультурні функції (наприклад, для точних наук – чи сприяє вивчення цієї теорії підвищенню культури мислення, культури наукового викладення проблем тощо);

7) впливати на рішення практичних задач.

Предметом метатеорій є не світ емпіричних явищ або теоретичних об'єктів, а самі наукові теорії та їх відповідність ряду стандартів. Метатеорії в науці бувають конкретно-наукові, зі своєї мовою та апаратом пізнання; і філософські, коли в ролі метатеорій для визначеної області науки виступає та чи інша філософська теорія.

Наведемо приклади конкретно-наукових метатеорій. Серед них можна назвати [4]:

- В області математики та логіки – метаматематичні та металогічні побудови Гільберта, Гейтинга, Рассела, Карнапа;

- В області фізики – парадигмальні загальні фізичні теорії (теорія відносності, квантова механіка та інші);

- В області програмування – парадигми програмування, які визначають концептуальні підходи до організації обчислень, структурування роботи обчислювальних засобів тощо.

Рефлексія. Говорячи про метатеоретичні методи, слід зупинитись на тому, що таке рефлексія в науці. Рефлексія – це така наукова діяльність, коли наука спрямовує зусилля не на вивчення оточуючого світу, а на саму себе. Ця діяльність має і гарний, і поганий бік. Серед небезпек рефлексивної діяльності – ненавмисне досягнення такого стану, коли наука починає лише «обслуговувати» саму себе, вигадуючи нові штучні задачі. Однак, розвиток суто теоретичного наукового знання, та вирішення проблем, далеких від практики не завжди є марною працею. Часто буває так, що найабстрактніші речі знаходять неочікуване застосування в практиці. Спроби формалізувати міркування, аксіоматизувати філософію, які могли здатись дивними з практичної точки зору, привели до створення теорії булевих функцій (названої на честь британського математика та філософа Джорджа Буля, який, до речі, був батьком письменниці Етель Ліліан Буль, у заміжжі Войнич), а ця теорія, в свою чергу, дала поштовх розвитку кібернетики і створенню обчислювальних машин.

Позитивний бік рефлексії полягає в тому, що наукове знання повинне час від часу критично переглядати, ревізувати свій склад, для того, щоби:

- перевірити істинність результатів, одержаних засобами теорії;
- перевірити вірність засобів, які використовувались в ході дослідження;
- скоригувати, переосмислити місце одержаних знань в картині світу.

Приклад. Внутрішньоматематичну рефлексію стимулювали парадокси в теорії множин. Цьому сприяли і результати одержані Куртом Геделем (Гьоделем) (теорема про неповноту), і Альфредом Тарським, засновником теорії істинності. Велику роль зіграли роботи Тарського в теорії множин, в тому числі відкритий у 1924 році разом із Стефаном Банахом парадокс Банаха–Тарського (парадокс подвоєння кулі). Сутність парадокса була такою: із кулі в евклідовому просторі можна шляхом операцій розрізання та склеювання одержати дві кулі, за об'ємом рівних вихідній. Пояснення парадокса полягає в тому, що поняття об'єму не може бути адекватно розтлумачене для довільних множин, а саме такі «множини без об'єму» тимчасово виникали в процесі побудови, і призвели до появи другої, фіктивної кулі. Парадокс відіграв велику роль для розвитку теорії міри.

Рефлексія в точних науках сприяла більш чіткому поняттю природи точних знань, абстрактних знань; досягненню більшої строгості доведень та визначень. Завдяки рефлексії наука запобігла двозначним трактуванням понять.

Ряд суперечок про повноту чи неповноту теорії існує стосовно квантової механіки.

В [6] пропонується поглянути в корінь проблеми – чому одні вчені бачать невідповідності, парадокси в квантовій теорії, а інші абстрагуються від них і успішно працюють із цією теорією, приймаючи тезис про її повноту та несуперечливість. Основна суперечність стосується того, яким чином вимірювання впливає на стан квантово-механічної системи. Це питання тісно пов'язане із тим, як відбувається редукція хвильової функції, яка описує стан спостережуваного об'єкта.

Розіб'ємо формулювання проблеми «редукції хвильової функції» на ствердження [6]:

1. Вимірювання це явище, а отже, воно повинно описуватись квантовою теорією.

2. В квантовій теорії це явище описується як миттєва зміна хвильової функції системи від одного стану до іншого із деякою імовірністю у відповідності до правил Борна. Цей стрибок і називається редукцією або колапсом хвильової функції.

3. Такий перехід не описується рівнянням Шредингера і тому виявляється «незаконним» з точки зору рівнянь стандартної квантової механіки. З цього приводу і виникають тези про неповноту сучасної квантової механіки і необхідність її додаткового розвитку.

Звідси витікають два напрямки у філософії квантової механіки:

– «копенгагенська» інтерпретація (прихильники – Н. Бор, В. Гейзенберг). Наголошує на імовірнісному описі, та на тому, що вимірювання породжує зміни стану.

– «антикопенгагенська» інтерпретація («Бог не грає у кості», – як сказав Ейнштейн, який був противником імовірнісного опису. Наявність ймовірностей, за його думки, свідчить про недостатність знань про поведінку квантових об'єктів).

Розглянемо основні положення копенгагенської інтерпретації. Фізичний світ складається з квантових мікрооб'єктів, і класичних вимірювальних приладів. Зміна у стані квантових мікрооб'єктів описується рівнянням Шредингера із використанням хвильової функції мікрооб'єкта. Зміна у стані класичних вимірювальних приладів описується незворотним статистичним процесом вимірювання характеристик квантових мікрооб'єктів. В процесі взаємодії мікрооб'єкта із атомами вимірювального приладу відбувається редукція хвильової функції вимірюваного мікрооб'єкта, тобто зведення суперпозиції станів до одного визначеного стану. Цей результат не слідує з рівняння Шредингера. Відповідно до цієї інтерпретації квантова механіка описує не мікрооб'єкти самі по собі, а їхні властивості, які проявляються у макроумовах, і створюються класичними вимірювальними приладами в процесі спостережень.

Тепер подивимось, які контраргументи приводить антикопенгагенська інтерпретація. Теза про неповноту квантової механіки виникла внаслідок розумового експерименту А. Ейнштейна, Б. Подольського та Н. Розена (ЕПР-парадокс), який був призначений для того, щоби довести, що приховані параметри мають існувати, щоби теорія не приводила до нелокальної та миттєвої

дальнодії. Однак, перевірка парадокса за допомогою нерівностей Белла довела, що квантова механіка є вірною, а теорії локальних прихованих параметрів не узгоджуються з експериментом.

Ервін Шредингер (його прізвище також інколи наводиться українською мовою як Шрьодінгер) провів відомий розумовий експеримент із котом, яким він хотів теж довести неповноту квантової механіки. Також не зрозуміло, що відбувається при миттєвому колапсі хвильової функції у всьому просторі, адже із точки зору спеціальної теорії відносності миттєвість, одночасність має сенс лише для спостерігачів, що знаходяться в одній системі відліку. Тобто, якщо не існує спільного для усіх часу, то і миттєвий колапс теж не є визначеним.

Можливо, одна із причин неузгодженості позицій копенгагенської та антикопенгагенської інтерпретації полягає в тому, що Бор та Ейнштейн по-різному розуміли визначення стану квантового об'єкта. Ейнштейн розумів слово «стан» в сенсі класичної фізики, коли стан є об'єктивною величиною, що не залежить від знань про нього будь-яких суб'єктів. Квантова механіка дійсно вивчає об'єктивні властивості, породжені природою, а не людським розумом. Однак, поняття про стан квантової механіки ближче до такого: це відомості про стан, які одержуються в результаті визначеного максимально точного експерименту. Тобто, хвильова функція описує не стан у класичному розумінні, а скоріше ці відомості про стан.

Наведемо відомий парадокс квантової механіки про kota.

Приклад. Парадокс kota Шредингера.

Розгляньмо наступну систему: в зачиненій коробці сидить кіт, також маємо механізм із радіоактивним ядром та ємністю із отруйним газом. Експеримент налаштовано так, щоби ймовірність того, що ядро розпадеться протягом певного короткого часу, дорівнювала 0.5. При розпаді ядро задіює механізм, який випускає газ із ємності у камеру, де сидить кіт, і той помирає від отруєння. Відповідно до квантово-механічних уявлень, до тих пір, доки над ядром не провели спостереження, його стан описується суперпозицією двох варіантів: ядра, що розпалося та цілого ядра. А отже, кіт має бути і живим і мертвим водночас. Коли ж коробку відкрити, то експериментатор мусить побачити тільки який-небудь один конкретний стан: «ядро розпалося, кіт мертвий», або ж «ядро не розпалося, кіт живий». Постає питання, коли саме система припиняє існувати як суміш двох станів і

обирає один конкретний стан? Метою цього експерименту було показати, що квантова механіка неповна без правил (не до кінця описує реальність), що вказували б, за яких умов відбувається колапс хвильової функції, і кіт або стає мертвий, або ж лишається живий, але припиняє бути суперпозицією того й іншого.

Середнього стану між життям та смертю не існує, але це значить, що і не існує подібного стану і для атомного ядра: воно мусить бути або таке, що розпалося, або таке, що не розпалося. Однак, невідповідність тут криється в тому, що кіт є макроскопічним об'єктом, тоді як ядро є мікроскопічним, і розглядати їх обох згідно правил існування квантових об'єктів не правомірно. Однак, місце для філософського аналізу цього експерименту все одне залишається.

Висновки

*У велетенським саду геометрії
кожен може дібрати собі букет за
смаком.*

Девід ГІЛБЕРТ



Підсумовуючи розглянуті в цьому посібнику методи наукового дослідження, можна зробити висновок про те, що все їхнє різноманіття можна розділити на три відносно незалежні групи:

- Методи емпіричного пізнання (наукове спостереження, експеримент, вимірювання, узагальнення, класифікація, висування гіпотез, що базуються на емпіричних даних, формулювання емпіричних законів і таке інше)
- Методи теоретичного пізнання (ідеалізація, теоретичний експеримент, математична гіпотеза, логічне доведення, форма-

лізація, конструювання теоретичних схем та їх інтерпретація, побудова наукових теорій тощо)

– Методи метатеоретичного пізнання (висування та формулювання загальнонаукових принципів, світоглядних концепцій, парадигмальних теорій тощо).

В точних науках використовуються всі вищезазначені групи методів, що сприяє ефективному та об'єктивному пізнанню оточуючого світу. Про практичну ефективність наукового пізнання свідчать численні результати (див. додатки 3, 4).

Своєрідним «контролером» правильності розвитку точної науки є рефлексія і методи метатеоретичного пізнання, які забезпечують відсіювання істинних результатів від хибних. Слід підкреслити певну роль філософії науки в спрямуванні наукових досліджень і, відповідно й методів, які застосовуються.

Перифразуючи слова відомого математика Девіда Гілберта, можна сказати, що із велетенського арсеналу методів наукового пізнання, що використовуються точними науками, кожен дослідник може обрати собі методи за смаком та за потребами дослідження.

Список використаних джерел

1. Пиковский А., Розенблум М. Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
2. Шарковский А.Н., Коляда С.Ф., Спивак А.Г., Федоренко В.В. Динамика одномерных отображений. – Киев: Наукова думка, 1989. – 216 с.
3. Aharonov Y., Bohm D. Significance of electromagnetic potentials in the Quantum Theory // Phys. Rev. – 1959. – 115(3). – P. 485–491. DOI:10.1103/PhysRev.115.485
4. Основы философии науки / под ред. проф. С.А. Лебедева: Учебное пособие для вузов. – М.: Академический проект, 2005. – 544 с.
5. Гейзенберг В. Квантовая механика и беседы с Эйнштейном // Природа. – 1972. – № 5.
6. Философия науки / Под ред. А.И. Липкина. – М., 2007. – 608 с.
7. Менский М.Б. Концепция сознания в контексте квантовой механики // Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175, № 4. – С. 413–435
8. Пуанкаре А. О науке: Пер. с фр. / Под ред. Л. С. Понтрягина. – 2-е изд., стер. – М.: Наука, 1990. – 736 с.
9. Философия науки / Мел Томпсон. – Пер. с англ. А. Гарькавого. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2003. – 304 с.
10. Швырев В.С. Теория познания и методологический анализ науки // Гносеология в системе философского мировоззрения. – М., 1983. – С. 129–130.
11. Ивин А. А. Логика: Учебное пособие. Изд. 2. – М.: Знание, 2007. – 228 с.
12. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – 488 с.
13. Мах Э. Познание и заблуждение. Очерки по психологии исследования. – М., 1909. – С. 197–198.
14. Popper K. Theories, experience and probabilistic intuitions // The Problem of Inductive Logic. – Amsterdam: North Holland Pub. Co., 1968. – P. 289.
15. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. – М.: Наука, 1988. – 368 с.

16. Арнольд В.И. Математическая дуэль вокруг Бурбаки // Вестник РАН. – 2002. – Т. 72, №3. – С. 245–250.
17. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. – М.:Недра, 1986. – 4 07 с.
18. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.
19. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблемах окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 315 с.
20. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. – 256 с.
21. Kephart J.O., White S.R. Measuring and Modeling Computer Virus Prevalence // Proceedings of the 1993 IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy, Oakland, California, May 24–25, 1993. – Oakland, CA, 1993. – P. 2–14.
22. Казёнов Г.Г., Соколов А.Г. Принципы и методология построения САПР БИС. – М.: Высшая школа, 1990. – 142 с.
23. Гребенников Е. А., Рябов Ю. А. Поиски и открытия планет. – М. : Наука, 1975. – 224 с.

Додаток 1. Історична довідка: позитивізм

Які філософські концепції лежать в основі наукового дослідження? Найбільш характерним для точних наук є використання положень позитивізму. Розглянемо детальніше, що собою являє позитивізм.

Таблиця 1.1. Автори основних концепцій позитивізму

Автор	Внесок	Дати
Огюст Конт	Перші положення позитивізму	30-і роки XIX ст.
Джон Стюарт Мілль	Співзвучні до позитивізму положення	XIX ст.
Герберт Спенсер	Співзвучні до позитивізму положення	XIX ст.
Ернст Мах	Перетворений позитивізм – емпіріокритицизм	Межа XIX-XX ст.
Ріхард Авенаріус	Вчення про «принципову координацію»	Межа XIX-XX ст.
Віденський гурток	Ідеї неопозитивізму	Початок XX ст.
Людвіг Вітгенштейн	Неопозитивізм	20-і роки XX ст.
Карл Поппер	Концепція «критичного раціоналізму», нова фаза розвитку позитивізму – постпозитивізм	Кінець 50-х – початок 60-х років XX ст.

Прочитуємо сутність основних етапів еволюції позитивізму за навчальним посібником з філософії В.І. Касьяна (Касьян В.І. Філософія: відповіді на запитання екзаменаційних білетів. – К.: Знання, 2008. – 347 с.) і прокоментуємо їх згідно практичного досвіду наукових досліджень.

«Основним принципом позитивізму є твердження: справжнє, «позитивне» (Конт: «слово «позитивне» означає реальне, на протизагу химеричному») знання можна одержати лише як результат окремих спеціальних наук та їх синтетичного поєднання, а філософія як особлива наука, що претендує на самостійне дослідження реальності, не має права на існування.

Конт проголосив рішучий розрив з філософською («метафізичною») традицією. Він стверджував, що наука не потребує філософії, яка б стояла над нею. Однак це не виключає існування синтезу наукового звання, за яким можна зберегти стару назву «філософії». Так, філософія зводиться до загальних ви-

сновків із природничих і суспільних наук. Її претензії на розкриття причин і сутності процесів чи явищ, за Контом, мають бути викинуті з науки. Наука не пояснює, а лише описує явища і відповідає не на питання «чому», а на питання «як». Реальне знання дає лише відчуття, фактичне існування чуттєвих речей. Позитивне виявляється тотожним змісту «відчутно-фактичного» існування. Але ігнорування питань причинності, сутності виникнення, становлення дійсності та інших філософських проблем привело до розвитку агностичного вчення про непізнаваність об'єктивної реальності, в сутність якої можна проникнути лише за допомогою релігії (зокрема, на думку Спенсера), а не за допомогою науки.”

Сучасна наукова традиція в певній мірі слідує ідеям позитивізму. Зокрема, позитивістські погляди простежуються в таких наукових принципах:

– Не приймати до розгляду суб'єктивні та метафізичні міркування. Наприклад, астрологія і астрономія – різні речі, хоча послідовники й одного, й іншого напрямку звертаються до вивчення зоряного неба, однак, астрономія є вільною від непідтверджених, недоведених метафізичних висновків. З точки зору науковців астрономія – це наукове знання, а астрологія – ні.

– Ніяких фактів не приймати «на віру». Все наукове знання має бути доведене, перевірене, або відкинуте, якщо можливість доведення виключається. Виключення – це гіпотези, які лише знаходяться в стадії доведення та перевірки. Однак, поки вони не доведені, вважати одержані на їхній основі висновки істинними не можна.

– Філософія як окрема наука майже не використовується спеціальними точними науками. Основні філософські поняття, звичайно, відомі науковцям та активно використовуються ними, однак, науковці не визнають виключної ролі філософських міркувань у розкритті природи оточуючого світу, віддаючи перевагу власним, спеціально розробленим, орієнтованим на конкретні об'єкти досліджень методам пізнання.

Однак, науковці не залишають спроб спростувати твердження позитивізму про непізнаваність світу. Наявність таких об'єктів, як чорні діри, квантові системи, імовірнісні процеси не лякають дослідників. Хоча подібні об'єкти принципово не є досліджуваними в повній мірі (вважається, що чорні діри не випускають назовні ніяких частинок, і інформація про об'єкт,

який потрапив у середину чорної діри зникає назавжди – хоча є й інші припущення; траєкторія квантових часток не може бути дослідженою – вона не існує в класичному сенсі, а стан квантового об'єкту змінюється під впливом вимірювань; будь-які імовірнісні процеси не дають спостерігачеві із 100% впевненістю відповісти, як процес поведе себе у наступний момент), однак, вважається, що із розширенням горизонтів науки зрозуміти природу цих речей є цілком можливим. До того ж, вчені наполегливо намагаються відкрити, що було до Великого вибуху, якою є модель розвитку Всесвіту і що на нього чекає у далекому майбутньому. Виникають все нові та нові теорії про будову Всесвіту. Звичайно, наука є обмеженою в просторово-часових рамках і в рівні технічних засобів досліджень, однак, не всі науковці притримуються того, що оточуючий світ не є пізнаваним. Звичайно, людський мозок та людське око не можуть досягнути поняття «нескінченність», «абсолют» та інші, однак, теоретично прийняти ці поняття цілком можливо.

“У кінці XIX ст. позитивізм пережив кризу, викликану прогресом природничо-наукового знання. Поняття у фізиці на межі XIX–XX ст. були докорінно переглянуті. З'явилась теорія відносності, яка поклала межу безроздільному пануванню ньютонівської теорії, були запропоновані перші напрацювання в області квантової теорії. Прогрес науки заперечував і знецінював ті узагальнення, що розглядалися позитивізмом як вічні і незаперечні надбання науки. На зміну так званому «першому позитивізму» приходить «другий позитивізм».”

Знов таки з'являються запитання про місце філософії в системі наук. Скоріше за все, філософія може сприйматись як мета-метатеоретичний рівень наукового пізнання. Кожна наука має свій теоретичний апарат, і систему знань, якими вона оперує. Однак, на певному етапі розвитку наука повинна переглянути свої положення, і спрямувати дослідження не на об'єкт, а на себе, оцінюючи істинність, повноту та несуперечливість основних позицій. Це називається метатеоретичним рівнем дослідження. Але має бути ще якась можливість для того, щоби всебічно оцінити не лише одну галузь наукового знання, а все знання в цілому, оцінити правильність розвитку тенденцій наукового пізнання, та його місце в бутті людини та Всесвіту. Це задача не якоїсь конкретної спеціальної науки, а більш загальна задача, яка і покладається на філософію.

“Перетворений позитивізм вступає в новий, другий етап свого розвитку – емпіріокритицизм (махізм). Творцями його стали Ернст Мах (1838–1916) і Ріхард Авенаріус (1843–1896). Класичним ньютонівським уявленням про абсолютний простір, час, рух, силу тощо Мах протиставив релятивістське розуміння цих категорій, стверджуючи, що вони суб’єктивні за своїм походженням. Світ, на думку Маха, є «комплексом відчуттів», а тому: завданням науки є лише опис цих «відчуттів».”

На перший погляд, Махівська концепція з точки зору науки є зовсім неприйнятною. Однак, якщо навіть у квантовій механіці поняття «стан об’єкта» скоріше трактується як «наше спостереження стану об’єкта», то ця концепція вже не здається такою дивною. До того ж, при всьому своєму прагненні до об’єктивності, наука все ж не вільна від суб’єктивних точок зору, тому на бачення світу в будь-якому разі накладається особистісний відбиток дослідника.

“Р. Авенаріус центральним поняттям філософії вважав досвід, в якому він прагне розчинити протилежність матерії і духу, фізичного і психічного. Вчення Авенаріуса про «принципову координацію» («без суб’єкта немає об’єкта і без об’єкта немає суб’єкта») відкидає об’єктивну реальність, що існує поза і незалежно від свідомості.”

Така думка дуже схожа на ідею відомого фантастичного фільму «Матриця», нібито увесь світ довкола нас – це лише наші відчуття. І без відчуттів людини цей світ зникає (йдеться про хибний світ, навіяний людям приладами зловісних прибульців). Однак, згідно «Матриці» об’єктивна реальність все ж існує, просто люди неспроможні її відчувати. Філософський підхід Авенаріуса не знайшов схвального відгуку та розповсюдження в точних науках, адже відповідно до наукових міркувань об’єктивна реальність існує незалежно від того, як ми бачимо оточуючий світ.

На зміну цьому вченню про виключну роль суб’єктивного приходять нові види позитивістської філософії – неопозитивізм і постпозитивізм.

“Неопозитивізм формується у 20-ті роки ХХ ст. Його основні ідеї викладено в книзі австро-англійського філософа Людвіга Вітгенштейна (1889–1951) «Логіко-філософський трактат» (1921). Вперше ідеї неопозитивізму чітко проявилися в діяльності Віденського гуртка, на основі якого сформувалася течія

логічного позитивізму. Тут чітко простежується еволюція позитивізму від обґрунтування наукового знання до аналізу мови, висловів людини, з яких виводиться сутність світу і самої людини. Тут під виглядом очищення філософії від «псевдопроблем» і «псевдовисловлювань» усуваються з неї суто філософські проблеми.

Згідно думки неопозитивістів, для вдосконалення філософії слід застосовувати спеціальну процедуру верифікації. Верифікація передбачає перевірку термінів та їх порівняння з фактами, що існують в об'єктивній реальності. Вітгенштейн вважає, що між фактами світу та науковою мовою повинен існувати жорсткий зв'язок. А філософія має прослідкувати за чіткістю висловлювань, щоби вони відповідали явищам оточуючого світу.

“Всі висловлювання і поняття, на думку Вітгенштейна, розподіляються на осмислені (істинні) та науково неосмислені неістинні, тобто безглузді. Людина повинна оперувати лише осмисленими положеннями та поняттями. Безглуздими положеннями і поняттями є всі філософські положення і поняття, оскільки вони є найбільш загальними і не піддаються верифікації (перевірці) і не можуть бути зведені до первинних, атомарних висловлювань, що фіксують конкретний факт реальності.

Згідно з цією логікою безглуздо, наприклад, говорити: «є матерія», «немає матерії», «матерія первинна, свідомість вторинна» або питати «чи є Бог?» і таке інше. Аналогічно безглуздими є поняття «капіталізм», «комунізм», «боротьба за мир», «людство», «фашизм», «безробіття», «суспільний прогрес» тощо. Тому що ці «псевдоположення» і «псевдопоняття» не верифікуються.

Отже, за висловлювання слід приймати лише ті, які визначають факти, що можна «побачити», тобто перевірити на безпосередньому досвіді шляхом експерименту. З точки зору точних наук це цілком схвально. Але гуманітарні, психологічні науки такий погляд прийняти не можуть, адже з цих позицій логічні позитивісти називають, наприклад, етику псевдонаукою, оскільки моральні поняття, внутрішній світ людини перевірити емпірично, виміряти майже неможливо.

Отже, логічний позитивізм є близьким у ряді положень до ідеї побудови суто формальних наукових систем. Чітка термінологія, максимум формалізації, наявність чітко визначених

правил виводу – ось основні риси логіки висловлювань. Ці ідеї частково знаходять застосування при вирішенні задач побудови обчислювальних пристроїв, розробки компіляторів мов програмування тощо. Але в задачах логіки, спряжених із нечіткими висловлюваннями, логіками, наближеними до людської, звичайно, спостерігаються відступи від суворого дотримання ідей логічного позитивізму.

Неопозитивізм не забезпечив чітких критеріїв оцінки висловлювань, і новим етапом розвитку став постпозитивізм.

“Біля витоків постпозитивізму стоїть австрійський філософ Карл Поппер (1902–1994) – автор концепції «критичного раціоналізму». К. Поппер зробив спробу подолати труднощі, що виникли в логічному позитивізмі і які пов’язані з абсолютизацією ролі емпіричних даних людського пізнання (суб’єктивно витлумачених факторів). Він запропонував замінити «верифікацію», метою якої є встановлення істинності тверджень шляхом їх підтвердження фактами, так звану фальсифікацію, тобто пошуками фактів, які не підтверджують, а спростовують певне твердження. Так, К. Поппер заявляє, що факти не можуть підтверджувати жодного теоретичного положення, але здатні їх спростовувати. Будь-які твердження негайно руйнуються як тільки з’являється хоча б один факт, що їм суперечить. Доказ цьому – доля вислову «всі лебеді білі», який було спростовано, коли став відомий факт наявності в Австралії чорних лебедів.

Таким чином, попперівський критичний раціоналізм – механічна заміна верифікації фальсифікацією. Це призводить до відмови визнання об’єктивної істини. Навіть сам термін «істина» замінено терміном «виправданість».”

Поппер песимістично ставиться до можливості людини пізнати в повній мірі навколишню дійсність, можна сказати, що він піддає сумніву здатності людського розуму це зробити. З точки зору точних наук до поглядів Поппера можна поставитись подвійно: з одного боку, звичайно, можливості людини завжди обмежені, але з іншого, теоретична можливість досягнути той чи інший факт навколишнього світу сумнівам не піддається (за певних припущень про розташування спостерігача в просторі та часі (чи інших вимірах, якщо вони існують), наявний науковий апарат та технічні засоби). Незважаючи на суперечливість спадку Поппера, слід визнати, що його ідеї про фальсифікацію

успішно використовуються при перевірці наукових теорій на істинність. І критерій науковості теорій, який каже, що знання, яке принципово не може бути піддане фальсифікації, є ненауковим, теж підтримується сучасною наукою.

Додаток 2. Критика наукового метода

Чи заслужив підхід, щодо якого наукові дослідження виконуються за науковим методом, загального схвалення? Виявляється, і щодо наукового метода деякі філософи та науковці мають ряд критичних зауважень. Наведемо, в чому вони полягають.

Таблиця 2.1. Критика наукового метода

Автори	Напрямок	Сутність критики	На основі чого робились висновки
Кун Т., Лакатос И., Фейерабенд П., Полани М., Лекторский В. А., Никифоров А. Л., Степин В. С., Порус В. Н. та ін.	Пост-позитивісти	Ставиться під сумнів те, що всі відкриття наукою були зроблені на основі наукового метода. Вважається, що методологія наукового метода та реальний розвиток наукових ідей сильно відрізняються. Висновок: науково достовірний метод, що приводить до достовірних знань, не існує	Факти про історію наукових відкриттів
Найбільш характерні погляди щодо критики наукового метода:			
Томас Кун	Вчення про парадигму	Наукове знання розвивається стрибкоподібно. Наукова революція відбувається тоді, коли вчені виявляють аномалії, які неможливо пояснити за допомогою старої парадигми, в рамках якої до цього моменту відбувалось зростання науки. Розвиток науки відповідає зміні «психологічних парадигм», поглядів на наукову проблему. Саме це, а не науковий метод породжує нові гіпотези та теорії.	Історичні дані про розвиток наукового знання

Імре Лакатос	Витончений фальсифікаціонізм	Гіпотеза ad hoc – припущення, що приймається спеціально для опису або пояснення окремого явища і систематично не зв'язане з попереднім знанням про нього. В науці такі гіпотези існують, і їх існування ставить під сумнів істинність теорії.	Гіпотези в складі теорій
Пауль Фейєрабенд	Гносеологічний архаїзм	Єдиний метод, який не створює перешкод прогресу – це метод «допустимо все». Жодна теорія ніколи не буде узгодженою із усіма відомими фактами в своїй області. В свою чергу, сприйняття фактів теж відбувається під навантаженням теоретичних традицій.	Існуючі методи теоретичного пізнання
Майкл Полані		Наукове знання можна передати через формальні мови лише частково, а частина, що залишається, складає особистісне знання вченого. Це приводить до суб'єктивного підходу в науці: вчені приймають деякі правила науки некритично, сюди входять навички, вміння та культура. Такі неформальні частини теорій передати та розвинути майже неможливо.	Аналіз складу наукового знання

В критиці, яка була наведена в таблиці вище, є раціональне зерно. Застосування наукового метода та дотримання умов його використання не завжди є запорукою відкриття. І навпаки, деякі відкриття були зроблені без застосування наукового метода. Історія науки демонструє численні приклади того, як одні ідеї змінюють інші без будь-яких видимих практичних причин. Наприклад, геліоцентрична система змінила геоцентричну, теорія кисневого горіння змінила теорію теплорода, класична механіка Ньютона змінила аристотелівську механіку.

Приклад. Обґрунтування Н. Коперником геліоцентричної системи є яскравим прикладом, коли остаточне пояснення відбуваються зовсім не науковим методом. Першопочатково нова

теорія, в якій планети обертались навколо Сонця, давала значно гірші передбачення, ніж теорія епіциклів, що панувала до неї. Тому вирішальним доводом Коперника була простота та внутрішня краса нової теорії:

«В центрі всього, в спокої, знаходиться Сонце. В цьому най-прекраснішому храмі хто зможе знайти цьому світильникові краще місце, ніж те, з якого він зможе освітлювати все одночасно?»

Ряд видатних винахідників та науковців ніколи не вважали науковий метод таким, який завжди має використовуватись при знаходженні нових наукових знань, здійсненні відкриттів.

Приклад. Відомий винахідник Нікола Тесла, про якого за його внесок до електро- та радіотехніки кажуть що він «винайшов ХХ вік», завжди наголошував на особливій ролі інтуїції у процесі відкриття: «Інтуїція – це дещо таке, що випереджує точне знання. Наш мозок має дуже чутливі нервові клітини, що дозволяє відчувати істину, навіть якщо вона недоступна логічним висновкам або іншим розумовим зусиллям... Мені не потрібні моделі, малюнки, експерименти. Коли в мене народжуються ідеї, я в уяві починаю будувати прилад, змінюю конструкцію, вдосконалюю її та вмикаю. І мені абсолютно байдуже, чи відбуваються випробування приладу подумки або у лабораторії, - результати будуть однаковими».

Звичайно, такі винахідники, як Тесла – це виключний, особливий варіант, але слід враховувати, що значна частина наукових знань так і здобуваються – напівінтуїтивно. Але сама інтуїція вченого – це не деяке метафізичне поняття, а в значній мірі це результат практики, досвіду й чималої кількості розумових вправ.

В богослов'ї та деяких напрямках філософії наукове знання розглядається як завжди обмежене, умовне, і таке, що не може претендувати на абсолютну істинність. Це підтверджується процесом зміни наукових теорій. Однак, наукова теорія ніколи не претендує саме на абсолютну істинність - в науковій теорії завжди вказується, коли, за яких умов та обмежень вона є застосовною, а відповідно, істинною.

Додаток 3. Точні науки на службі практичних потреб людства

В цьому додатку наведемо в якості прикладу перелік винаходів ХХІ сторіччя, які були зроблені на основі поєднання практичних задач із теоретичними знаннями. Фізик Лев Ландау ка-

зав: «Якби теоретики не ставили закорючки на папері, можна було би подумати, що вони нічого не роблять». Наведений нижче перелік свідчить про те, що теоретична наука все ж таки робить значний внесок до практичних потреб людства, інколи зовсім непередбачувано. До того ж, в сучасному суспільстві великим попитом користуються саме наукоємні галузі промисловості.

Рік патентування	Винаходи
2001	Цифрове супутникове радіо Гнучкий дисплей «Розумний пил» (концепція розподіленої мережі мініатюрних сенсорів) Алгоритм PageRank для визначення найбільш «важливих» веб-сторінок
2002	Штучна сітківка ока Проекційна клавіатура Нанотехнологічні водо- та брудовідштовхувальні покриття Аерогель (гель, в якому рідка фаза повністю заміщена газоподібною) Microsoft Tablet PC – початок ери планшетних комп'ютерів
2003	Стереоскопічний 3D-дисплей Мозковий інтерфейс (без вживання електродів) Електромеханічний наномотор (наноелектромеханічний осцилятор релаксації, що приводиться до руху силами поверхневого натягу). Цифрові відеокамери в мобільних телефонах Портативний водневий електрогенератор.
2004	Нейро-комп'ютерний інтерфейс (вживлення чипу BrainGate в мозок людини) Гнучкі сонячні батареї Атомний годинник на чипі Наноманіпулятор Калпеппера Польовий транзистор на вуглецевій нанотрубці Нейтронний мікроскоп (створений в NIST)
2005	Цифровий синтезатор запахів Ноутбук на паливних елементах Кремнієвий робот-м'яз Прототип польового транзистора на одній молекулі Робот, що створює власні копії (реплікатор) Електронний папір (що використовується в дисплеях електронних книжок) Цифровий фотографічний атлас земної поверхні Google Maps

2006	Настільний 3D-сканер Перша автономна мобільна наномашина Електронний ніс Терагерцовий транзистор Самовідновлювальні фарби та покриття Емісійний дисплей на вуглецевих нанотрубках.
2007	Гнучкі акумулятори світла Перетворювач механічної вібрації до електричної енергії для наноприладів Комп'ютерні системи розпізнавання облич, що перевищують можливості людини Інтерфейс, що зчитує напрямок погляду людини Поляритонний лазер, що працює при кімнатній температурі Безпроводна підзарядка акумуляторів мобільних пристроїв
2008	Штучна хромосома Великий адронний колайдер Осцилограф, який дозволяє в деталях вивчати профіль ультракоротких світлових спалахів Наноматеріали, що напряму перетворюють радіацію на електрику Мемристор (лабораторний зразок за моделлю Чуа) Динамічна архітектура (Д. Фішер запропонував моделі будівель, що динамічно пристосовуються до потреб людини)
2009	Передача думки до Інтернет Використання ГМ-вірусів для виробництва батарейок Перший плавучий вітряк Мономолекулярний діод Зарядний пристрій на метанолі Невидимий вентилятор (вентилятор без лопатей) Самовідновлювальна електроніка Перший біологічний 3D-принтер
2010	Перша біологічна клітина, в якій її власну ДНК замінили на штучно створену
2011	Дзеркало-діагност (вимірювання серцевого ритму за допомогою вбудованої веб-камери та розпізнавання пульсацій на обличчі)
2012	Oculus Rift, шолом віртуальної реальності Розроблений спосіб виробництва розчинної електроніки Нова потужна вибухова речовина – гексанітрогексаазаізопуритан.
2013	Реалізація дрона – мініатюрного літального апарата із широкими можливостями вагою 17 г Лазерний космічний зв'язок (НАСА)

2014	Компактний термоядерний реактор (що можна вмістити до автомобіля) Безпроводна передача «електроенергії» (на відстань біля 2 м) Перекладач із мови жестів На 3D принтері надруковано перші кістки людського черепа для потреб трансплантації
2015	Нано-електронний робо-пристрій (NERD) – «спляча» бактерія, яку вчені примусили грати роль надчутливого датчика вологості за допомогою низки наноструктур, розміщених на її поверхні

Звичайно, вище наведений далеко не повний перелік визначних винаходів 21 сторіччя – це лише найбільш яскраві приклади.

Додаток 4. Нещодавні найважливіші наукові відкриття

Рік	Відкриття
2000	Синтезовано ще один надважкий хімічний елемент, що підтверджує гіпотезу про існування елементів за трансурановими
2004	Експериментальне підтвердження існування графена (модифікації вуглецю)
2005	Експериментальне доведення існування кварк-глюонної плазми
2006	Доведення гіпотези Пуанкаре
2007	Відкриття зоряних потоків, що обертаються довкола центру Галактики
2012	Відкриття бозона Хігса
2014	Відкриття надскопища галактик Ланіакєя

Наразі активно розвиваються та роблять значний вплив на суспільне життя такі галузі науки:

- Квантова фізика;
- Квантова хімія;
- Ядерна фізика;
- Фізична кінетика;
- Магніто- та електрогідродинаміка;
- Фізика наноструктур;
- Фізика плазми;
- Фізична хімія;
- Нелінійна динаміка;
- Медична фізика;
- Астрофізика;
- Молекулярна біологія;
- Біомеханіка;
- Генетика;
- Логіка та штучний інтелект.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
 ГЛАВА 1. СПОСОБИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЕТАПІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	 8
1.1 Наукові спостереження	8
1.2 Порівняння	10
1.3 Вимірювання	13
1.4 Експеримент	17
 ГЛАВА 2. СПОСОБИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЕТАПІ ПОБУДОВИ ТЕОРІЇ	 21
2.1 Визначення та будова теорії	21
2.2 Абстрагування	24
2.3 Індукція та дедукція	26
2.4 Екстраполяція	30
2.5 Ідеалізація	31
2.6 Перевірка теорії	34
2.7 Розвиток теорії	36
 ГЛАВА 3. ЗАСТОСУВАННЯ НАУКОВОГО МЕТОДА ПРИ ПОБУДОВІ МОДЕЛІ ТА ПЕРЕВІРЦІ АДЕКВАТНОСТІ	 40
3.1 Загальні підходи	40
3.2 Формалізація	43
3.3 Математичне моделювання	47
 ГЛАВА 4. АПРОБАЦІЯ АДЕКВАТНОСТІ	 50
4.1 Загальні підходи	50
4.2 Фальсифікація (теорії)	52

ГЛАВА 5. АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ ОБ’ЄКТА	55
5.1 Загальні підходи	55
5.2 Прогноз та екстраполяція	56
 ГЛАВА 6. МЕТОДИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ЕМПІРИЧНОМУ ТА ТЕОРЕТИЧНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ НА БУДЬ-ЯКИХ ЕТАПАХ	 58
6.1 Аналіз	58
6.2. Синтез	67
6.3. Аналогія	72
 ГЛАВА 7. МЕТОДИ МЕТАТЕОРЕТИЧНОГО ПІЗНАННЯ	 74
7.1 Необхідність метатеоретичного дослідження	74
7.2 Завдання метатеоретичного дослідження	77
 ВИСНОВКИ	 82
 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	 84
 ДОДАТКИ	 86

**Посібник для учасників учнівських
науково-технічних конкурсів**

О.М. Новіков, І.В. Стьопочкіна

Науковий метод у точних науках

Підписано до друку 8.10.2015 р.
Формат 60х90х16. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 10,11. Обл.-вид. арк. 21,0
Наклад 1000 прим. Замовлення № 155

Віддруковано у ТОВ “Наш формат”
02105, Київ, пр. Миру, 7, к. 45.
Реєстраційне свідоцтво ДК № 4540 від 7 травня 2013 р.

У ПОСІБНИКУ В ПОПУЛЯРНІЙ ФОРМІ РОЗГЛЯДАЮТЬСЯ ОСНОВИ СУЧАСНОГО НАУКОВОГО МЕТОДУ ТА ДЕЯКІ ІНШІ ПИТАННЯ НАУКОВОЇ МЕТОДОЛОГІЇ У ЗАСТОСУВАННІ ДО ТОЧНИХ НАУК. ПОСІБНИК БАЗУЄТЬСЯ НА ДОСВІДІ СПІВПРАЦІ АВТОРІВ З НАУКОВОЮ МОЛОДДЮ ТА ПЕДАГОГАМИ, ЯКІ БРАЛИ УЧАСТЬ У МІЖНАРОДНОМУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОМУ КОНКУРСІ УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ INTEL ISEF, НАЦІОНАЛЬНОМУ КОНКУРСІ INTEL-ТЕХНО УКРАЇНА, УЧНІВСЬКИХ ОЛІМПІАДАХ ТОЩО. РОЗГЛЯНУТІ СПОСОБИ І МЕТОДИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НА РІЗНИХ ЕТАПАХ, НАДАНІ ПРАКТИЧНІ ПОРАДИ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УЧНІВСЬКОЇ МОЛОДІ. ПОСІБНИК ПРИЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ УЧНІВ СЕРЕДНІХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ, ЯКІ БЕРУТЬ УЧАСТЬ У МІЖНАРОДНИХ ТА НАЦІОНАЛЬНИХ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ КОНКУРСАХ, ПЕДАГОГІВ ТА НАУКОВИХ КЕРІВНИКІВ, А ТАКОЖ МОЖЕ БУТИ КОРИСНИМ ДЛЯ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ І ВСІХ, ХТО МАЄ ІНТЕРЕС ДО МЕТОДОЛОГІЇ НАУКИ.